தாவர வளர்சிதை மாற்றம்

ஆசிரியை

திருமதி சரஸ்வதி அரங்கமன்னார், எம்.ஏ., எம்.எஸ்ஸி.,

தாவரவியல் துணைப் பேராசிரியை,

மாநிலக் கல்லூரி, சென்னை.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண்—403

தாவர வளர்சிதை மாற்றம்

ஆசிரியை

திருமதி சரஸ்வதி அரங்கமன்னார், எம்.ஏ., எம்.எஸ்ஸி.,

தாவரவியல் துணைப் பேராசிரியை,

மாநிலக் கல்லூரி, சென்னை.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—January, 1973

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 401

© Tamil Nadu Text Book Society

METABOLISM AND BIOSYNTHESIS

TMT. SARASWATHI RANGAMANNAR

Price Rs. 7-45

'Published by the Tamil Nadu Text Book Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.'

Printed by
ELANGOVAN PRINTERS,
23, Muthu Mudali Street,
Royapettah, Madras-14.

அணிந்துரை

திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன்
(தமிழகக் கல்வி-உள்ளாட்சித்துறை அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பன்னிரண்டாண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ. வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்றுவந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.), 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப் படிப்பு வகுப்புகளிலும் அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மன நிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ் வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகம் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெருமுயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

பல துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணிதம், இயற்பியல், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், விலங்கியல், தாவரவியல், பொறியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் வெளியிட்டு வருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான 'தாவர வளர்சிதை மாற்றம்' என்ற இந் நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 403ஆவது வெளியீடாகும். இதுவரை 438 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு கல்வி, சமூகநல அமைச்சகத்தின் மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப் படுகிறது.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும். அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக்கழகங்களின் பல்வகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம்கலந்த நன்றி உரியதாகுக.

இரா. நெடுஞ்செழியன்

பொருளடக்கம்

			பக்கம்
தோற்றுவாய்		...	1
1.	தாவரமும் தாவரச் செல்லும்	...	6
2.	தாவரங்களில் காணப்படும் பொருள்கள்	...	22
3.	நொதிகள்	...	36
4.	கதிரியக்க ஐஸொடோப்களும் உயிர் வேதியியல் ஆய்வுகளும்	...	56
5.	நிறப்பிரிகை	...	61
6.	ஒளிச்சேர்க்கை	...	65
7.	ஒளிச்சேர்க்கையைப்பற்றிய ஆய்வின் வரலாறு	...	130
8.	சிதைமாற்றங்களில் பங்குகொள்ளும் அம்சங்களும் ATP-யும்	...	151
9.	சுவாசித்தல்	...	170
10.	சுவாசமானிகள் (Respirometers)	...	220
11.	நைட்ரஜனின் வளர்சிதை மாற்றம்	...	223
12.	நியூக்ளிக் அமிலங்கள்	...	251
13.	புரதச் சேர்க்கையைக் கட்டுப்படுத்தல்	...	280
14.	ஜீன் உற்பத்தி	...	284
15.	லிபிடுகளின் வளர்சிதை மாற்றம்	...	288
16.	உயிர்களின் தோற்றம்	...	303
BIBLIOGRAPHY		...	320
கலைச்சொற்கள்		...	322

தோற்றுவாய்

தாவரங்கள் உயிரினங்களில் ஒரு வகையாகும். மனிதனின் வாழ்க்கை, தாவரங்களின் வாழ்க்கையோடு இணைந்ததாகும். 'வெள்ளத்தனைய மலர் நீட்டம்', 'தளரா வளர் தெங்கு', 'மோப்பக் குழையும் அனிச்சம்' என்று வரும் தொடர்களில் தாவரங்களின் வாழ்க்கையின் முக்கிய அம்சங்களான நீர், தளரா வளர்ச்சி (Moropodial growth) அசைவு (Movement) என்ற மூன்று பிரிவில் தாவரவியலின் தத்துவங்களை அடக்கிக் கூறியது தமிழென்று அறிவோம். தாவரங்களின் வாழ்க்கையைப்பற்றிய அறிவு பொதுவாக உழவுத் தொழிலுடன் இணைந்திருந்தது அல்லது சித்தர்களின் சீரிய குறிப்புகளில் பொதிந்து கிடந்தது. ஆனால் தாவரங்களின் வாழ்க்கையை ஆய்ந்தறியப் போந்த அந்நியர் இதனைத் தாவரவியல் என்ற பெயரின்கீழ் அமைத்துள்ளனர்.

18-ஆம் நூற்றாண்டின் முடிவிற்குள் ஜோசப் பிரீஸ்ட்லீ (Joseph priestly) ஷீல் (Scheele), ஜான் இன்ஜென்ஹௌஸ் (Jan Ingen-Housz), ஆன்டோனி லாவோசியர் (Antoine Lavoisier) போன்ற மேதைகளின் அரிய முயற்சிகளின் பயனால் தெளிவாயின. ஆக்ஸிஜனின் அடிப்படைப் பண்புகளும், எரித்தலில் ஆக்ஸிஜனின் பங்கும், அங்ககப் பொருள்களின் எரிதல் பற்றியும் குறிப்புகள் தெளிவாக்கப்பட்டன.

19-ஆம் நூற்றாண்டின் துவக்கம் நிகோலஸ் தியோடோர் டீ சாஸர் (Nicolas Theodore de Saussure) என்பவரின் முயற்சியால் ஒரு திருப்பத்தைக் கண்டதென்பர். அவருடைய 'ரிசெர்ஸ் சிமிக்யூஸ் ஸர் லா வெஜிடேஷன்' (Recherches Chimiques sur la vegetation) என்ற நூலில் தாவரங்களின் வாழ்க்கையைப் பற்றிய பலகுறிப்புகள் தெள்ளத் தெளிவாகக் காணப்படுகின்றன. இதற்கு முன்னோடியாக அமைந்த நூல்கள் அத்தகைய சிறப்பை உடையனவல்ல.

தாவரங்களின் வாழ்க்கையைப்பற்றிய முதல் பரிசோதனை வான் ஹெல்மான்ட் (Van Helmont) நிகழ்த்தியது என்று கூறுவர். வில்லோ மரக் கொப்பு ஒன்றை அவர் நட்டு அதன் எடையையும் தொட்டியில் இருந்த மண்ணின் எடையையும் நிறுத்தார். பின்னர் ஐந்து வருடங்கள் கழித்து அதே மரத்தை (வளர்ந்த) நிறுத்ததில் அதன் எடை பன்மடங்கு பெருகியிருந்ததைக் கண்டார். அந்த கொப்பிற்கு நீர் விட்டு வளர்த்த அவர், அதன் வளர்ச்சிக்கு நீரே காரணம் என்று கருதினர். 17-ஆம் நூற்றுண்டில் இந்தப் பரிசோதனை நிகழ்ந்தது. அந்நாளில் ஒளிச் சேர்க்கை என்றொரு நிகழ்ச்சி தாவரங்களில் நிகழ்வதாக அறியவில்லை. எனவே அன்னுர் தன் அனுமானத்தில் ஒரு தவறினைச் செய்தார். இருந்தாலும் முதன் முதலில் தாவரவியலைப் பரிசோதனைக்குரிய அறிவியலாகியது வான் ஹெல்மான்டின் பரிசோதனையாகும்.

செல் என்பது உயிரினத்தின் அடிப்படை. அதுவே ஒரு உயிரியின் செயல் அலகு (Functional unit) என்று நாம் இன்று அறிவோம். ஆனல் 19-ஆம் நூற்றுண்டின் துவக்கத்தில்தான் இத்தகைய ஒரு கூறு, தாவர அமைப்பின் அடிப்படை அலகு என்பதை ராபர்ட் பிரௌன் (1831) (Robert Brown) என்பவரின் முயற்சியாலும் எம். ஜே. ஷ்லீடென் (M. J. Schleiden), தியோடோர் சுவான் (Theodor Schwahn) என்ற அறிஞர்களின் முயற்சியாலும் உணர்ந்தோம்.

இன்று செல்லினைக் கூறிட்டு, அதன் பல்வேறு அங்கங்களின் செயலை ஆய்கின்றனர். மேலும் அந்த அங்கங்களின் மூலக்கூறுகளை ஆயும் நிலையில் தற்கால உலகம் ஈடுபட்டுள்ளது. இனி அந்த மூலக்கூறுகளில் காணப்படும் அணுக்களையோ அல்லது அவற்றின் பகுதிகளான மையங்களைத் துளைத்து அவற்றின் துகள்களையோ (Pations) ஆயப் புகுவார்.

1846-ல் வான் மோல் (Von Mohl) புரோடோபிளாசத்தைக் கண்டறிந்தார். ஆகவே, சொல்லின் முக்கியப் பொருளாகும் என்று காண்பித்தார். 1855-ல் நாகேலீயும் (Nageli) ஹாப்மீஸ்டரும் (Hofmeister), டிவிரிஸ் (De Vries) 1877 என்பவரும் செல்லும் அது நீருடன் கொண்ட தொடர்பையும், கரைசல்கள் எங்ஙனம் செல்லின் நீர் உட்புகு நிகழ்ச்சிகளில் பங்கேற்கின்றன என்ற குறிப்புகளையும் தெளிவாக்கினர்.

தாவரங்களைப் பெருக்கி வாழ்வை வளமாக்கக் கனிம ஊட்டம் தேவைப்படுகிறது என்பதைப் படிப்படியாக அறிந்தனர். இந்த முயற்சியில் லாஸ் (Lawes) கில்பர்ட் (Gilbert) போன்ற அறிஞர்களின் முயற்சிகள் குறிப்பிடத்தக்கவை.

19-ஆம் நூற்றாண்டின் இடையிலும், முடிவிலும் உயிரியல் ஒரு சீரிய அமைப்பாக உருவெடுத்ததெனலாம். இதற்கு ஊன்று கோலாகப் பெரிதும் உதவியவர்கள் ஸேக்ஸ் (Sachs) வில்ஹெம் பெஃப்ஃபெர் (Wilhe'm Pfeffer) என்ற இருவராவர். இவர்கள் தாவர வாழ்க்கையின் சிக்கல்களை பௌதீகவேதியல் கண்ணோட்டத்துடன் ஆய்ந்தனர். பல ஆய்வுகளின் முடிவைத் தொகுக்க ஆரம்பித்தனர். 20-ம் நூற்றாண்டின் துவக்கத்திற்குள் பல ஆயிரக் கணக்கான குறிப்புகள் வெளியாகத் தொடங்கின. நூல்களைத் தொகுப்போர் மேற்கண்ட ஆய்வுகளின் விரைவைக் கண்டு பிரமித்தனர். ஆனால் 1926-லிருந்து இன்றுவரை தாவரங்களின் வாழ்க்கையைப்பற்றிய ஆய்வுகளை வெளியிட்டுவரும் நூல், பயலாஜிகல் அப்ஸ்ட்ராக்ட்ஸ் (Biological Abstracts) எனலாம். மேலும் 1930-லிருந்து வெளிவரும் மற்றொரு நூல் ஆனுவெல் ரிவ்யூ ஆஃப் பிளான்ட் ஃபிசியாலஜி (Annual Review of Plant Physiology) யாகும்.

இனி தாவரங்களின் வாழ்க்கையைப்பற்றிய ஆய்வு நன்கு வேரூன்றியது எனலாம்.

17-ஆம் நூற்றாண்டில் தாவரங்களின் வாழ்க்கையைப்பற்றிய ஆய்வு முளைத்தது என்றால் அது இன்று கிளைத்துத் தழைத்து விட்டது எனலாம்.

தாவரங்களின் வாழ்க்கையில் நிகழ்வனவற்றை இன்று பல கோணங்களில் ஆய்கின்றனர். தாவரங்கள் சூழ்நிலையைத் தூய்மை யாக்குகின்றன என்று ஜோஸப் பிரீஸ்ட்லி கண்ட நாள் முதலே அவைகளின் சிறப்பான செயல் ஒளிச் சேர்க்கை என அறியலானோம். ஆக்சிஜன் ஒளிச் சேர்க்கையின்போது வெளிவரும் என்ற உண்மையும் இதனால் வாயுவெளி மண்டலம் தூய்மையாக்கப் படுகிறது என்றும் கண்டோம்.

இங்ஙனம் ஒளிச்சேர்க்கையில் சூரிய ஒளியின் மின்காந்த அலைகளைத் தாவரங்கள் ஈர்த்து அதனைப் பயனுள்ள உயிர் வேதியல் சக்தியாக மாற்றுகின்றன என்று நாம் அறிவோம். பூமியின்மேல் படும் ஒளியனைத்தும் வெப்பமாகவும் ஒளியாகவும் மட்டுமே இருந்து விடாமல் ஒவ்வொரு தாவரங்கள் மேல் படும்போதும் அது உலகமே உய்யும் உணவாகப் பரிணமித்தலால் தாவரங்கள் மக்களுக்கு எத்தகைய நன்மையைப் பயக்கும் நற்ஜீவிகள் என்பதை உணரலாம்.

தாவரங்களும் சுவாசிக்கின்றன. ஆனால், இவற்றிற்கு வாயுவை உட்கொள்ள தனிப்பட்ட வழிகளோ, உறுப்புகளோ இல்லை.

இலைத்துளைகள் உள்ளன. ஆனால் உயிருள்ள எல்லா செல்களும் இலைத்துளைகள் வழியாக வரும் காற்றில் தம் சிதை மாற்றங்களை நிகழ்த்துகின்றன. எனவே அவை காற்றில் (ஆக்சிஜனில்) உணவைச் சிதைக்கின்றன என்று கூறுவது பொருந்தும்.

தாவரங்கள், உணவுப் பொருள்களைச் சிதைத்தல் உணவுப் பொருள்களைக் கட்டுதல் என்ற இரு நிகழ்ச்சிகளில், தம் வாழ்க்கையை நடத்துகின்றன. இவை உயிர் வேதியல் கிரியைகளாகத் தோன்றுகின்றன. வேதியல் கிரியைகளை மட்டும் ஆய்ந்தறியலாம். ஆனால் உயிருடன் இணைந்த வேதியல் மாற்றங்களின் திறன் சொலற்கரியதாயுள்ளது. தாவரத்தின் திசுக்கள் சீரிய அமைப்புடையவை; சிக்கலான அமைப்புடையவை. அவற்றில் காணும் செல்கள் வியக்கத்தக்க வகையில் தோன்றி, மாற்றமடைந்து முதிர்ச்சியடைகின்றன. ஆனால் பல, முதிர்ந்த நிலையிலிருந்து திரியும் திறனுள்ளவை.

செல்லின் கூறுகளோ அதைவிட நுணுக்கமும், சீரிய அமைப்பும், வியக்கத்தக்க செயல் திறனும் பெற்றிருக்கின்றன. பசுங் கணிகங்கள் தம் அமைப்பில் உணவுப் பொருள்களான கார்போஹைடிரேட்டுகள், புரதம், கொழுப்பு முதலிய அனைத்தையும் கட்டும் சீரமைப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன. அதற்குவேண்டிய சக்தியையும் தாமே உருவாக்குகின்றன.

மைட்டோகோன்ட்ரியாக்களைச் செல்லின் சக்தி சாலைகள் (Power Houses) எனலாம். உணவுப் பொருள்கள் அனைத்தையும் காற்றின் உதவியால் எரிக்கின்றன. அயனிகளைப் பரிமாறிக்கொள்கின்றன. சில பொருள்களைக் கட்டுகின்றன. பொருள்கள் எரிவதால் வெளிவரும் சக்தியெல்லாம் வெப்பம், ஒளி, ஓசையென வீணாகிவிடாமல் உயிர் வேதியல் சக்தியாக சேமிக்கின்றன. ஆனால் இவற்றைச் சாதாரண நுண்ணோக்கிகளில் காண்பதரிது. அவை ஒரு மில்லிமீட்டர் அளவிற்கும் உட்பட்ட தோற்றம் உடையவை!

இவற்றையெல்லாம் நோக்கும்போது செல்கள் மட்டும் வியக்கத்தக்க அமைப்பிலில்லை என்றும். அவற்றின் நுண்ணரிய சிறு கூறுகள்கூட சீரிய அமைப்பையும், ஒழுங்குமுறையையும், செயல் திறனையும். சக்தி சேமிக்கும் ஆற்றலையும் கொண்டுள்ளன என்றும் நாம் அறிவோம்.

பசுங் கணிகம், மைட்டோகோன்ட்ரியா போன்ற செல்லின் அங்கங்களை இன்று அறிஞர் பலர், "செல்லினுள் அமைத்த கூட்டுயிரிகளிலிருந்து பரிணமித்தவையோ" என ஐயுறுகின்றனர்.

நியூக்ளிக் அமிலம் நியூக்ளியஸ்ஸில் காணப்படுகிறது என அறிவோம். இதன் அமைப்பில் காணப்படும் கூட்டுப் பொருள்களில், ஒரு தாவரத்தின் வாழ்க்கையே அடங்கியுள்ளது என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். நியூக்ளிக் அமிலங்களின் அமைப்பைத் திருத்தினால் தாவரத்தின் வாழ்க்கையையே மாற்றியமைக்கலாம் எனக் கண்டுள்ளனர். இங்ஙனம், தாவரங்களின் வாழ்க்கையில் செயல்படுவன செல்கள் அல்லது திசுக்கள் என்று குறிப்பிடும் நிலையை மாற்றி, செயல் அலகினை மூலக்கூறு அளவிற்குக் கொணர்ந்த திறன் இக் கால வளர்ச்சியைக் காட்டுவதாகும். இதனால் ஓர் எளிய தாவரம்கூட மேலும் மேலும் நுணுக்கம் கொண்டதொரு உயிரினமாகி, அதன் உயிரியக்கத்தை எளிதில் நிச்சயிக்கமுடியாத அளவிற்குக் கடினமாகத் தோன்றுகிறது. தாவரங்களின் எண்ணிக்கையும் முடிவற்றது. எனவே, இனி தாவரங்களின் ஆய்வில் ஈடுபடுதல் அரியதொரு முயற்சியில் முனைந்ததற்கொப்பாகும்.

தாவரங்களின் சிறப்பை உணர்ந்து, அந்த நாளிலேயே தாவரங்களைத் தமிழர் *"அந்தமில் சீர்த்தாவரம்" என்றழைத்தனர் போலும்.

---

*இது எழுவகைப் பிறப்பினையும், எண்பத்து நான்கு இயக்கம் பிறப்பு வேறுபாடுகளையும் குறிக்கும் வெண்பா ஒன்றின் இறுதியில் வரும் தொடராகும்.

‘ஊர்வ பதினொன்றாம் ஒன்பது மானுடம்
நீர்பறவை நாற்காலோர் பப்பத்தாம்—சீரிய
பந்தமாம் தேவர் பதினா லயன்படைத்த
அந்தமில்சீர்த் தாவரநா லைந்து.’

1. தாவரமும் தாவரச் செல்லும்

செல்கள் தாவரத்தின் செயல் அலகுகள் என்று குறிப்பிடுகின்றனர். தாவரத்தின் வாழ்க்கையை ஆய்ந்தறிய வேண்டுமானுல் அத்தகைய வாழ்க்கையின் அலகுகளை அறிய வேண்டும்.

ஒரு மொழிக்கு எழுத்து அலகாவதுபோல, தாவர உருவத்திற்குச் செல் அலகாகிறது. இந்தச் சிறு அலகுகளின் அமைப்பையும், அவை இயங்கும் விதத்தினையும் கண்டறிய வேண்டும்.

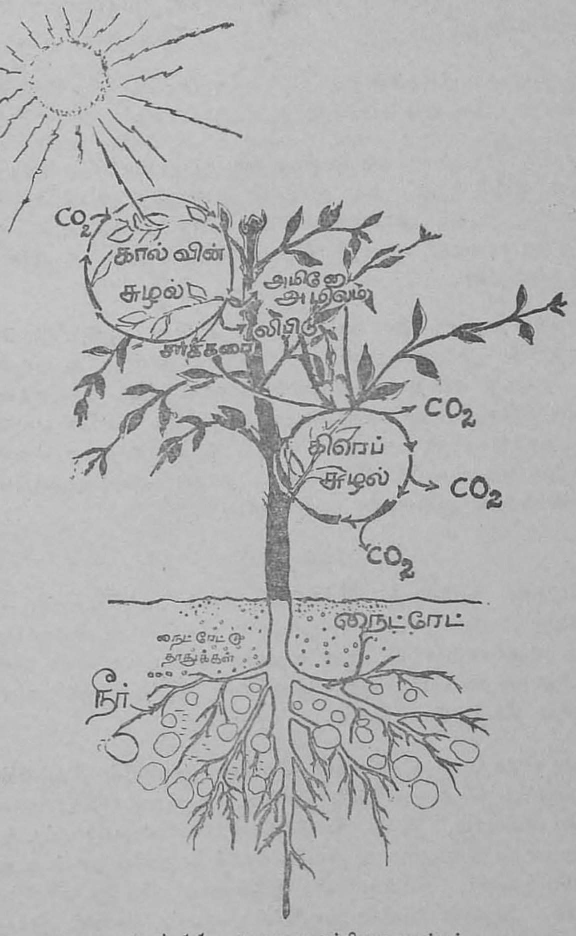
தாவரவியல் வல்லுநர் தாவரத்தைக் கூறுபடுத்தி வேர், தண்டு எனப் பிரித்தனர். அவற்றின் வாழ்க்கை முறையைத் தனித்தனியாக ஆய்ந்தனர். தாவரத்தின் திசுக் கூறுகளைப் பகுத்தும், திசுக்களின் அங்கங்களான செல்களை ஆய்ந்தும் பல உண்மைகளைக் கண்டனர். பின்னர் செல்களின் உள்ளே அமைந்த பல்வேறு பகுதிகளைப் பிரித்தெடுத்து செல்லற்ற சூழ்நிலையில் அவற்றின் வினைகளை ஆய்ந்தனர். செல்லின் கூறுகளான அந்தப் பகுதிகளில் அமைந்த மூலக் கூறுகளையும் ஆய்ந்தறியும் முயற்சியில் இன்றைய அறிவுலகம் ஈடுபட்டுள்ளது.

இத்தகைய ஆய்வுகள், நுண்ணிய கருவிகளின் தோற்றத்தால் சாத்தியமாகிறது. கண்ணுக்குப் புலனுகாதவற்றையும் பெரிதளவாக்கிக் காட்டும் நுண்ணேக்கிகள், இன்று உருவாக்கப்பட்டுள்ளன. இத்தகைய நுண்ணேக்கிகளில், எலெக்ட்ரான் நுண்ணேக்கி, ஒரு மைக்ரான் அளவிற்கும் உட்பட்ட அமைப்புகளைத் தெளிவாக்கிக் காட்டவல்லது.

வளர்சிதை மாற்றங்கள்

இவை தாவரச்செல்களில் நிகழ்கின்றன. உயிருள்ள செல்கள் என தாவரச்செல்களைப் பிரித்து நோக்குகையில், புரோட்டோபிளாசத்தைக் கொண்டுள்ள செல்கள் அனைத்தும் அந்த வரிசையில் வருகின்றன. தாவரங்களின் தண்டுகளிலும், வேர்களிலும்

இத்தகைய செல்களாலாகிய திசுக்கள் உள்ளன. பொதுவாக. ஆக்கு திசுக்கள், பாரன்கைமா திசுக்கள், கோலென்கைமா



படம் 1.1. தாவர வளர்சிதை மாற்றம்

பசுந்தழைகள் சூரிய ஒளியை ஈர்த்துக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப் படுத்துகின்றன. இதனால் சர்க்கரை, அமினோ அமிலம், லிபிடு போன்ற பலதரப் பட்ட உணவுப் பொருள்கள் உற்பத்தியாகின்றன. சுவாசித்தலில் சர்க்கரை கிரெப் சுழல் மாற்றங்களால் சிதைவுற்று கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை வெளியிடு கின்றது. அமினோ அமிலம், லிபிடுபோன்ற உணவு வகைகள்கூட முடிவில் கிரெப் சுழல் மாற்றங்களினாலேயே சிதைவுறுகின்றன. வளர் மாற்றங்களுக்கான திட்டம் கால்வின் சுழல் எனப்படும் அது ஒளிச்சேர்க்கை என்னும் நிகழ்ச்சி யைக் குறிப்பதாகும்.

திசுக்கள், குளோரென்கைமா திசுக்கள் முதிர்ச்சியடையாத சாற்றுக் குழாய் திசுக்கள் போன்ற பல திசுக்களிலும் புரோட்டோபிளாசம் காணப்படுகிறது.

இத்தகைய திசுக்கள் பல அடுக்குகளாகவோ சில சிறு குழுக்களாகவோ, தண்டிலும் வேரிலும் அமைந்துள்ளன.

ஒளிச் சேர்க்கையைச் செய்யவல்ல தாவரங்களையெல்லாம் சுய ஜீவிகள் என்கிறோம். சுய ஜீவிகள் என்று கூறும்போது இந்த வரிசையில் உயர் தாவரங்களாகிய பசுந் தாவரங்கள், ஏனைய பூவாத் தாவரங்கள், ஆல்ஜி, சில பாக்டீரியா போன்ற அனைத்தும் அடங்குகின்றன.

பசுந் தாவரங்களை சுய ஜீவிகள் என்று குறிப்பிடும்போது, தாவரத்தின் இலைகள்தான் சுய ஜீவிகள் என்று கூறுவதில்லை. வேர், தண்டு என்ற பகுதிகளைக்கொண்ட ஒரு தாவரத்தையே குறிப்பிடுகிறோம். தாவரத்தின் வாழ்க்கைக்கு, வேரின் பல செயல்களும், தண்டுகளின் பல செயல்களும் கூட்டாக நிகழ வேண்டும். பின்வரும் பக்கங்களில் மேற்கண்ட தாவர அங்கங்களைப்பற்றிய அண்மைக்கால ஆய்வுகளை அறிவோம்.

வேர்

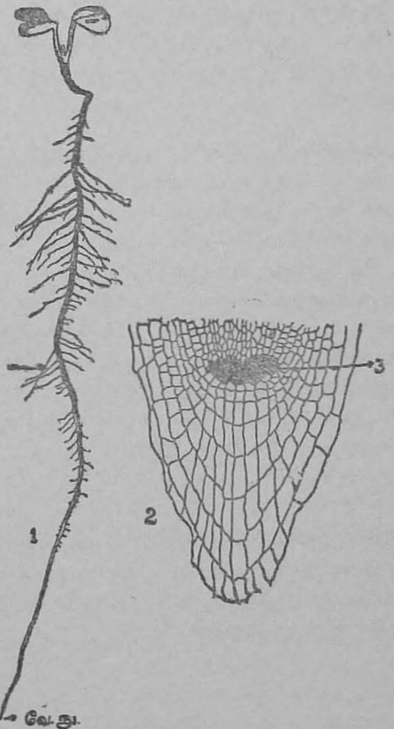
வேரின் முக்கியத் தொழில் நீரை உறிஞ்சுதல் என்று அறிவோம். இங்கு வேர்த் தூவிகள் வேரின் உறிஞ்சு பரப்பை அதிகமாக்குகின்றன என்றும் கூறுகின்றனர். ஆனால், அண்மையில் சில ஆராய்ச்சியாளர், இதனைச் சந்தேகிக்கும் வகையில் ஆய்வுகள் நிகழ்த்தியுள்ளனர்.

பல சிக்கலான செயல்கள் வேரின் நுனியில் நிகழ்கின்றன. செல் பகுப்பு, செல் வளர்ச்சி, செல் உருமாற்றம் (Differentiation) என்பன சிலவாம். இந்த நிகழ்ச்சிகள் வேரின் பல மட்டங்களில் படிப்படியாக (In sequence) நிகழ்வதாகக் கூறுகின்றனர். உண்மையில் மேற்கண்ட நிகழ்ச்சிகள் இணையாக (In parallel) நிகழ்கின்றன. ஆனால் வேரின் நுனியில் பல மட்டங்களில் இவற்றின் வேகம் வேறுபடலாம் (At different rates at different levels in the root tip).

சான்றாக, முதல் சல்லடைக் குழாய்த் திசுக்கள் முதிர்ச்சியடைந்த மட்டத்தில் காணப்படும் புறணி செல்களில், மைடாஸிஸ் பகுப்பு நிகழ்வதைக் காணலாம். இதனால், வேரின் நுனியில்தான் பகுப்பு நிகழவேண்டுமென்பதில்லை என்பது தெளிவாகின்றது.

வேரின் நுனியில், வேர் முடிக்கு உட்புறத்தில் ஒரு திசுக் குழு காணப்படுகிறது. முன்னர் இதனை ஆக்குத் திசு என்று கருதினர். அதிலிருந்துதான், புறத்தோல், புறணி, ஸ்டீல் போன்ற உறுப்புகள் தோன்றுவதாகவும் அனுமானித்தனர்.

ஆனால், அதனை இன்று 'கொயஸென்ட் மையம்' (Quiescent centre) என்று குறிப்பிடுகின்றனர். இங்கு DNA-வின் இரட்டித்தலும், மைட்டாஸிஸ் பகுப்பும் மிகக் குறைந்த வேகத்தில் நிகழ்கின்றன. படம் 1.2-ல் கண்டபடி உண்மையான ஆக்குத் திசு



படம் 1·2. வேரும் வேரின் நுனியும்

1. ஆணிவேரும் அதன் பக்க வேர்களும். வே. நு.-வேரின் நுனி
2. வேரின் நுனியின் உள்ளமைப்பு
3. பகுக்கும் நிகழ்ச்சி ஆரம்பமாகாத செல்கள்

செல்கள் இதற்கு வெளிப்புறத்திலுள்ள விளிம்பில் அமைந்துள்ளன.

ஆக்குத் திசுவின் பகுப்பில் உண்டாகிய திசுக்கள் உருமாற்ற மடைகின்றன. அங்ஙனம் உருமாறுவதில், சல்லடைக் குழாய்த் திசுக்களே முதலெனலாம்.

செல்களின் நீட்சி ஒரு குறிப்பிடத்தக்க அம்சமாகும். இது தாவரங்களுக்கேற்ப மாறுபடுகின்றது. வெகு விரைவில் வளரும் வேர்களில் 20 மில்லி மீட்டர் நீளத்திற்கும் மேற்பட்ட பகுதியில் செல்கள் நீட்சியடைவது காணப்படும்.

வேரின் நீட்சியடையும் செல்களின் தொகுப்பிற்கு அடுத்து உள்ள மேல்பகுதியில், முழுதும் உருமாறி, அதிக அளவில் வாக்கு வோலைக்கொண்ட, புறணிப் பகுதியின் செல்களும், லிபிடு படிந்த என்டோடெர்மிஸ்ஸினுல் புறணியிலிருந்து பிரிக்கப்பட்ட ஸ்டீலும் காணப்படுகின்றன.

தண்டுடன் இணைந்த வேரில், தண்டுகளிலிருந்து வேர்களுக்கு உணவு செல்வதும், வேர்களின் மூலம் நீர், கரைபொருள் முதலியன தண்டுகளுக்குச் செல்வதும் நிகழ்கின்றன. எனினும் பிரித்தெடுக்கப் பட்ட வேர்களை எளிதில் சோதனைக் கூடத்தில் வளர்க்க முடிகிறது. இதற்கென சில தாது உப்புக்களும், சர்க்கரை வைட்டமின் போன்ற பொருள்களும் தேவைப்படுகின்றன. இவை இந்நிலையில் 30 ஆண்டுகள்கூட வளருகின்றன என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். இதனுல் வேர்களின் வளர்சிதை மாற்றங்களுக்கு அடிப்படையான கார்போ-ஹைடிரேட்டுகளும், அனங்கக தாதுக்களும் தேவைப்படு கின்றன என்பது தெளிவாகிறது. கார்போ ஹைடிரேட்டு போன்ற உணவுப் பொருள்களை வேர்கள் இலைகளிலிருந்து பெறுகின்றன.

இலைகள்

இலைகளின் அமைப்பில் புறத் தோல்களும், மீஸோஃபில் திசுக்களும் (Mesophyll tissues) முக்கிய அங்கங்களாகின்றன புறத்தோலில் காணப்படும் இலைத் துளைகளைப்பற்றிய அண்மைக் கால ஆய்வுகளை இங்குக் கவனிப்போம்.

இலைத்துளைகள்

பீன்ஸு செடிகளின் முதிர்ச்சியடையாத காப்பு செல்களை எலெக்ட்ரான் நுண்ணோக்கியில் கவனித்தனர். காப்பு செல்களில், மைட்டோகோன்ட்ரியா ஏராளமாகக் காணப்படுவதாகவும், என்டோபிளாஸ்மிக் வலை சீரிய வளர்ச்சியுடன் காணப்படுவதாகவும் கூறுகின்றனர். டிக்டியோஸோம்களும் அதிக எண்ணிக்கையில் இருப்பதைக் கண்டனர்.

இலைத்துளைகள் மூடித் திறப்பதற்கு, இதுவரை, திருப்திகர மான விளக்கம் எதுவும் அளிக்கப்படவில்லை. ஆனால் மைட்டோ கோன்ட்ரியா அயனி பரிமாற்றத்தில் (Ion exchange) பங்குகொள் வதால், கரைபொருளின் சேகரத்தில் இவை உதவலாம் என்று கருதப்படுகின்றது. கரைபொருள் காப்பு செல்களில் சேரச் சேர அங்கு உள்ள செல்சாறின் பரவல் அழுத்தக்குறைவு (Diffusion pressure deficit) அதிகமாகி, மேற்கண்ட செல்கள் நீரை உறிஞ்ச லாம். இதனால் விறைப்புத்தன்மை ஏற்பட்டு இலைத்துளைகள் பெரிதாகலாம் என்று அனுமானிக்கின்றனர்.

சில தாவரங்களில் காணப்படும் இலைத்துளைகளை அடுத்துள்ள காப்பு செல்களின் சுவரில், தடிப்புகள் மேடுபள்ளங்களைக் கொண் டிருக்கின்றன. இது மழைநீர் உள்ளே செல்வதைத் தடைசெய் கிறது என்று பல ஆய்வுகளின்மூலம் கண்டுபிடித்தனர்.

மீஸோஃபில் திசுக்களில் பசுங்கணிகங்கள் ஏராளமாகக் காணப்படுகின்றன.

பசுங்கணிகங்கள்

பசுங்கணிகத்திற்கு இரட்டைச் சவ்வினலான உறை உள்ளது. சில பகுதிகளில் சவ்வு உட்புறத்தில் மடிந்து காணப்படுகிறது. மைட்டோ கோண்ட்ரியாவில் உள்ளதைப் போவில்லாமல், இந்த மடிப்புகள் ஆழமற்றுக் காணப்படுகின்றன. (Shallow invaginations), பசுங்கணிகத்தின் கொள்ளளவில் பெரும்பகுதியாக அமைந்திருப்பது ஸ்டோமாவாகும்.

பசுங்கணிகத்தில் குறிப்பாகத் தென்படுவது, உள்ளே காணப் படும் சவ்வுகளின் அமைப்பாகும். இது பல சவ்வு அடுக்குகளைக் கொண்ட கிரானுக்களையும், அவற்றை இணைக்கும் சவ்வுகளையும் குறிக்கும்.

பல நுண்ணிய ஆய்வு முறைகளினல் இன்று பிரித்தெடுக்கப் பட்ட பசுங்கணிகங்கள், ஒளிச்சேர்க்கையில் நடைபெறும் ஒளிக் கிரியைகள், இருள் கிரியைகள், போன்ற அனைத்திற்கும் தேவைப் படும் நிறமிகளையும் நொதிகளையும் கொண்டிருக்கின்றன என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். மைட்டோகோன்ட்ரியாவில் நிகழ்வதைப் போலவே, பசுங்கணிகங்களில் உள்ள சவ்வுகளோடு இணைந்து காணப்படும் நொதிகள், எலெக்ட்ரான்களைக் கடத்தி, ATPஐ உற்பத்தி செய்கின்றன. சூரிய ஒளி அல்லது செயற்கை ஒளி இதற்குத் தேவைப்படுகிறது. இங்ஙனம் ஒளியின் உதவியால் ATP உற்பத்தியாவதை ஒளி பாஸ்பரீகரணம் என்றழைப்பர்.

கார்பன் - டை - ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்தும் நொதிகள் ஸ்ட்ரோமா பகுதியில் காணப்படுகின்றன.

ஆஸ்மியோஃபைலிக் நுண்மணிகளின் (Osmiophilic droplets) செயலைப்பற்றித் தெளிவாகத் தெரியவில்லை. அவைகளில் லிபிடுகளும் குவினோன்களும் ஏராளமாகக் காணப்படுவதாகக் கூறுகின்றனர்.

ஸ்ட்ரோமா பகுதியில் RNA காணப்படுகிறது. சில பசுங் கணிகங்களில், பல சிறிய மணிகள் காணப்படுகின்றன. இவை தோற்றத்தில் ரிபோஸோம்களை ஒத்திருக்கின்றன. இவற்றை பசுங்கணிக ரிபோஸோம்கள் (Chloroplast ribosomes) என்றழைக் கின்றனர். இவற்றில் RNA அதிகமாகக் காணப்படுகிறது. இவை சில பசுங்கணிகங்களில் பெரிய உருவத்தில் தோற்றமளிப்பதுடன் பாலிரிபோஸோம் அமைப்பிலும் காணப்படலாம் என்று கண்டு உள்ளனர்.

பசுங்கணிகங்களில் DNAவும் காணப்படுகிறது. இதனால் பசுங்கணிகங்கள் RNA, புரதம் முதலியவற்றின் சேர்க்கையில் (Synthesis) ஈடுபடுகின்றன எனக் கண்டுள்ளனர்.

மேற்கண்ட ஆய்வுகளினால் பசுங்கணிகங்கள் ஓரளவிற்கு உயிர் வேதியியல் மாற்றங்களில் சுயேச்சை (Partial autonomy in biochemical changes) பெற்றிருப்பதைக் காண்க. இதனால், இவை உணவு உற்பத்தியிலும், நொதிகளைத் தயாரித்தலிலும் தாமாகவே செயல்படுவது புலப்படும். இலைகளில் இத்தகைய சிறப்பு வாய்ந்த அங்கங்கள் உள்ளன. எனினும் இலைகள் நீடித்திருப்பதில்லை. நிரந்தரப் பசுமையுள்ள தாவரங்கள் கூட இலைகளை உதிர்க்கின்றன. அங்கு ஒரு சில ஆண்டுகளே இலைகள் நிலைக்கின்றன.

இலைகள் உதிருதல், ஒழுங்குடன் நிகழுகின்றது. இது வளர்ச்சிப் பொருளின் உதவியால் நிகழும் மாற்றங்களின் விளைவா கின்றது. இத்தகைய மாற்றங்களில் சில பசுங்கணிகங்கள் சிதைவுறுதல், நிறமிகள் மறைதல், புரதத்தின் அளவு குறைதல், பல சமயங்களில் ஆன்தோஸயனின் (Anthocyanin) அதிகமாக உற்பத்தியாதல், போன்றவையாகும்.

தாவரங்களில் காணப்படும் ஒவ்வொரு மாற்றமும் பல கிரியைகளின் கூட்டு இணைவினால் நிகழ்கின்றன. இவற்றின் ஒழுங்கு முறை ஒரு சீரிய அமைப்பில் காணப்படுகிறது.

மேற்கண்ட இலையுதிரல் நிகழ்ச்சியில் ஒரு சில பொருள்களின் (பசுங்கணிகங்கள்) சிதை மாற்றங்களும் வேறு சில பொருள்களின் (ஆன்தோஸயனின்) வளர் மாற்றங்களும், இணையாக (Parallel)

நிகழ்வதைக் காண்க. இவை ஒன்றை ஒன்று தடை செய்வதில்லை. இவ்விரண்டினுல் ஏற்படும் விளைவே இலையுதிரல்.

நியூக்ளியஸ்

செல்களில் குறிப்பாகத் தென்படுவது நியூக்ளியஸ் (Nucleus) செல்களுக்கு அயோடின் சாயத்தை ஏற்றி, ஃபேஸ் கான்ட்ராஸ்ட் நுண்ணோக்கியில் (Phase contrast microscope) பார்த்தால், செல்களின் நியூக்ளியஸ் ஏறக்குறைய கோள வடிவத்தில் தென்படுகின்றது. நியூக்ளியஸ்ஸினுள் அதிகமாக சாயமேற்றப்பட்ட நியூக்ளியோலஸ் (Nucleolus) காணப்படுகிறது. நியூக்ளியோலஸ், ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட எண்ணிக்கையில் வாக்குவோல்களைப் பெற்றிருக்கலாம்.

ஒரு மெல்லிய கோடு நியூக்ளியஸ்ஸின் உறையைக் குறிப்பிடுகிறது. இது சைடோபிளாசத்திலிருந்து நியூக்ளியோபிளாசத்தைப் பிரிக்கின்றது. நியூக்ளியோ பிளாசம், சைடோபிளாசம், வாக்குவோல்கள் என மூன்று பகுதிகள் செல்களில் காணப்படுகின்றன. சைடோபிளாசம், சவ்வுகள் இவற்றைப் பிரிக்கின்றன. சுவரையொட்டிப் படிந்திருப்பதுடன் பல இழைகள் உருவில் வாக்குவோல்களின் மேலும் காணப்படுகின்றது.

வாக்குவோல்கள் (Vacuoles) சாறு நிறைந்த பள்ளங்கள் எனப்படுகின்றன. இவைகளை சைடோபிளாசத்திலிருந்து பிரிப்பதற்கு வாக்குவோல்களின் சவ்வுகள் (Vacuolar membranes) காணப்படுகின்றன. இந்தச் சவ்வுகளை டோனோபிளாஸ்ட் (Tonoplast) என்று குறிப்பிடுகின்றனர்.

இனி நியூக்ளியஸ்ஸின் முக்கியப் பகுதியான குரோமேடின் (Chromatin) பகுதியைக் காண்போம்.

குரோமேடின்

குரோமேடின் நியூக்ளியஸ் முழுவதிலும் பல குழுக்களாக விரவிக் கிடக்கிறது. இந்தக் குழுக்களின் அளவும் வேறுபடலாம். நியூக்ளியோ பிளாசத்தின் முழுப் பகுதியிலும் குரோமேடின் காணப்படலாம். நியூக்ளியஸ்ஸின் உறைச் சவ்வுகளுக்கு உட்புறத்திலும் சில வேளைகளில் நியூக்ளியோலஸ்ஸின் வெளிப்புறத்திலும் குரோமேடின் செறிந்து காணப்படலாம். நியூக்ளியஸ்ஸில் காணப்படும் பொருள்களில் சில மணிகளாகவும், சில நார்களாகவும் தென்படுகின்றன. நியூக்ளியஸ்ஸிற்கு இரட்டை உறைச் சவ்வுகள் உண்டு. இந்த உறைச் சவ்வுகளில் துவாரங்கள்

இருப்பதை எலெக்ட்ரான் நுண்ணேக்கியால் காணலாம். நியூக்ளியஸ்ஸின் உறைச் சவ்வு, என்டோபிளாஸ்மிக் வலைச் சவ்வுடன் தொடர்பு கொண்டிருக்கும்.

குரோமேடினின் வகை ஒவ்வொரு செல்லிலும் தனித்த தன்மையைப் பெற்றிருக்கிறது. ஆடோரேடியோகிராஃபி (Auto-radiography) என்ற சோதனை முறையில் ஆய்ந்ததில் நியூக்ளியஸ் RNAவைக் காட்டுகின்றது என்று கண்டுபிடித்தனர். ஆனால், பசுங்கணிகங்கள், மைட்டோகோன்ட்ரியா போன்றவையும் DNAவை உற்பத்தி செய்கின்றன என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். எனினும் RNAவின் உற்பத்தி நியூக்ளியஸ்ஸில் நிகழ்கின்றது என்று கூறுகின்றனர். மேலும் மைட்டோஸிஸின்போது குரோமேடின் ஒன்றுசேர்ந்து தடிப்படைவதால் RNA உற்பத்தி நின்று விடுகிறது என்று கூறுகின்றனர். இதனல் குரோமேடின், குரோமோஸோம் உருவில் காணப்படும்போது RNAவை உற்பத்தி செய்வதில்லை என்பது பெறப்படும். குரோமேடின் என்ருல், அது RNA புரதக் கூட்டினைக் குறிப்பிடுவதாகும்.

மேலும் பல ஆய்வுகள் நிகழ்த்தியதில் RNAவைக் கட்டுவதற்கான இடைப் பொருள்களை நியூக்ளியோபிளாசப் பகுதிதான் ஏற்கிறது என்று கண்டனர். குரோமேடின், பெரிய குழுக்களாக அமையாத நியூக்ளியோ பிளாசப் பகுதிகளில்தான் மேற்கண்ட நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறுவதைக் கண்டனர். இதனல் குரோமேடின் குழுக்கள் பெரிய அளவிற்குச் சேர்ந்து காணப்படும் பகுதிகளில் RNA உற்பத்தி நிகழ்வதில்லை என்பது பெறப்படும். அதிகமான தடிப்பேருத குரோமேடின் பகுதியே RNA உற்பத்திக்கு உசிதமானது என்பதும் தெளிவாகிறது.

RNA நியூக்ளியஸ்ஸில் உற்பத்தியானபோது அது சைடோபிளாசத்தை அடைகிறது. ஆனல் நியூக்ளியஸ்ஸின் சவ்வினைக் கிழித்துக்கொண்டு செல்வதில்லை. சில ஆய்வாளர்கள் RNA மூலக்கூறுகள் நியூக்ளியோ பிளாசத்திலிருந்து சைடோ பிளாசத்திற்குச் செல்லும்போது நியூக்ளியஸ்ஸின் உறைச் சவ்வில் காணப்படும் துளைகள் வழியாகச் செல்வதாகக் கூறுகின்றனர். ஆனல் இவை உயிருள்ள நியூக்ளியஸ்ஸின் துவாரங்கள்தான் என இன்னும் தெளிவாகத் தெரியவில்லை.

என்டோபிளாஸ்மிக் வலையோடு நியூக்ளியஸ்ஸும் தொடர்பு கொள்வது உறைச் சவ்வுகளிடையே நிகழ்கின்றது. எனவே நியூக்ளியஸ்ஸின் உறையை, என்டோபிளாஸ்மிக் வலையின் ஒரு சிறப்பான பகுதியாகக் கருதுகின்றனர்.

நியூக்ளியோலஸ் (Nucleolus)

நியூக்ளியோலஸ்ஸைப்பற்றிப் பத்து ஆண்டுகளாகப் பல ஆய்வுகள் நிகழ்ந்து வருகின்றன. நியூக்ளியஸ்ஸின் பகுப்பின் போது இவை மறைகின்றன. பகுப்பின் முடிவில் மறுபடியும் தோன்றுகின்றன.

இவைகளின் செயல்கள் இன்னும் தெளிவாகத் தெரியவில்லை. இதில் நார் போன்ற பொருள்களும் மணிகள் போன்ற பொருள் களும் காணப்படுகின்றன. ஆனல் அவற்றின் வேதியியல் தன்மை தெளிவாகத் தெரியவில்லை.

ஆயினும் நியூக்ளியோலஸ்களில் RNA அதிகமாகக் காணப் படும் பொருள்களின் சேமிப்புக் காணப்படுவதாகக் கூறுகின்றனர். இத்தகைய பொருள்களைப் புரோரிபோஸோம்கள் (Proribosomes).

இந்தப் புரோரிபோஸோம்களை நியூக்ளியோலஸ் தயாரிக் கின்றதா, அல்லது நியூக்ளியோபிளாசத்தில் தயாரித்ததைச் சேமித்து வைக்கின்றதா என்பது தெளிவாகத் தெரியவில்லை. மைட்டாஸிஸ் பகுப்பின்போது புரோரிபோஸோம்கள் ஸைடோ பிளாசத்தை அடைகின்றன. அங்கு அவை ரிபோஸோம்களாக மாற்றப்பட்டு புரதச் சேர்க்கையில் பங்குபெறும் பகுதிகளாகலாம் என்று கருதப்படுகின்றது.

ரிபோஸோம்கள் (Ribosomes)

ரிபோஸோம்கள் என்டோபிளாஸ்மிக் வலையிலும், ஸைடோ பிளாசத்திலும் காணப்படலாம். ரிபோஸோம்கள் பல குழுக்களாகக் காணப்படும் அமைப்பு பாலிரிபோஸோம் (Polyribosome) என்று அழைக்கப்படுகின்றது. இந்த அமைப்பில் ரிபோஸோம்கள் ஒன்றையடுத்து மற்ருென்ருகக் காணப்படுகின்றன. வரிசையாக அவை மாற்று RNA இழையின்மேல் காணப்படுவது என்டோ பிளாஸ்மிக் வலைச் சவ்வின்மேல் பொருந்தியபோதுதான் தென்படு கிறது. இவை புரதச் சேர்க்கையில் ஈடுபடும் செயலையே மேற் கண்ட தோற்றம் குறிக்கிறது.

ஒவ்வொரு ரிபோஸோமும் இரு சிறு அலகுகளைக்கொண்டிருக் கின்றன. மாற்று RNA-வின் இழை, மேற்கண்ட சிறு அலகு களுக்கு இடையிலுள்ள பள்ளத்தின் வழியாகச் செய்கிறதென்று கூறுகின்றனர்.

ரிபோஸோம்களின் மேற்பரப்பில் உற்பத்தியான புரதங்கள், என்டோபிளாஸ்மிக் வலையினுள் புகுவதாகக் கண்டுபிடித்துள்ளனர்.

இத்தகையதொரு நிலைமை விலங்கினங்களின் செல்களிலுள்ள என்டோபிளாஸ்மிக் வலையினுள் நிகழ்வதாகக் கூறுகின்றனர். தாவரத்திலும் இங்ஙனம் நிகழ்கிறதா என்று கண்டுபிடிக்க வேண்டுமென்று கருதுகின்றனர். ஏனெனில் மேற் கண்ட உறுப்புகள் தாவரத்திலும் விலங்குகளிலும் காணப்படுகின்றன.

என்டோபிளாஸ்மிக் வலை

என்டோபிளாஸ்மிக் வலை சைடோபிளாசத்தில் காணப்படுகிறது. என்டோபிளாஸ்மிக் வலைத் துண்டுகள் தட்டையான பைகளைப்போல் காணப்படுகின்றன. அவற்றை ஸிஸ்டேர்னே (Cisternae) என்று அழைக்கின்றனர்; அல்லது அவற்றைத் தட்டையான பைகள் (Flattened sacs) என்றும் கூறுகின்றனர்.

சிறிய கருப்பு மணிகள் சைடோபிளாசத்தில் காணப்படுகின்றன. இவை சைடோபிளாசத்தின் அடிப்படைப் பொருளில் (Basophilia) காணப்படலாம்; அல்லது சைடோபிளாசத்தில் அமைந்துள்ள பல்வேறு அங்கங்களில் ஒன்றுன என்டோபிளாஸ்மிக் வலையின் வெளிப் பரப்பில் (அதாவது சைடோபிளாசத்தை அடுத்துள்ள பகுதியில்) காணப்படலாம்.

பிளாஸ்மோடெஸ்மேடா (Plasmodesmata)

சைடோபிளாசத்தைச் சுற்றி பிளாஸ்மா சவ்வு அமைந்திருக்கிறது. இதுவும் இரு சவ்வுகளாலாகியது. செல் சுவரையொட்டி இந்தச் சவ்வு செல்லுகிறது. செல் சுவரின் தடிப்பு ஒரே சீராக இருப்பதில்லையாதலால் பிளாஸ்மா சவ்வும் பல மேடுபள்ளங்களைக் கொண்டிருக்கிறது. செல்களுக்கிடையே தொடர்பை ஏற்படுத்தும் பகுதிகள் பிளாஸ்மோடெஸ்மேடா (Plasmodesmata) என்று அழைக்கப்படுகின்றன.

பிளாஸ்மோடெஸ்மேடா என்ற அமைப்புகள் செல்சுவரிலுள்ள குழிகளின் வழியாகச் (Through the pit) சென்று மற்ருெரு செல்லின் சைடோபிளாசத்தில் முடிகின்றன என்று குறிப்பிடுகின்றனர். ஆனால், இவற்றின் அமைப்பு இன்னும் தெளிவாகத் தெரியவில்லை.

பெரும்பாலும் இவற்றின் அமைப்பு ஒரு கால்வாய் போன்று இருக்கவேண்டும் என்று கருதுகின்றனர். மேலும் இந்தக் கால்வாயின் சவ்வு பிளாஸ்மா சவ்வின் தொடராக அமைந்திருக்கிறது என்றும் கூறுகின்றனர். இதனால் இரண்டு செல்களின் சைடோபிளாசமும் தொடர்புகொள்ள முடிகிறது. மேற்கண்ட அமைப்பில்

பிளாஸ்மோடெஸ்மேடா ஒரு கால்வாய் என்பதும், அது பிளாஸ்மா சவ்வினால் சூழப்பட்டிருக்கிறது என்பதும் பெறப்படும். இந்த அமைப்போடு என்டோபிளாஸ்மிக் வலேயின் தொடர்ச்சியையும் சேர்ப்பார் உளர். என்டோபிளாஸ்மிக் வலே எங்ஙனம் பிளாஸ்மோடெஸ்மேடாவில் காணப்படுகிறது என்பது தெளிவாகவில்லே. இந்த ஆய்வாளர்களின் கருத்துப்படி என்டோபிளாஸ்மிக் வலேகளும் பிளாஸ்மோடெஸ்மா வழியாகச் சென்று, ஒரு செல்லே மற்ருெரு செல்லுடன் இணைக்கின்றன. சைடோகைனிஸிஸ் (Cytokyncsis) என்ற நிகழ்ச்சியில் தாய் செல்லின் சைடோபிளாசத்தை இரண்டாகப் பிரிக்கும் வகையில் செல்தட்டு (Cell plate) தோன்றுகின்றது என்று அறிவோம். இங்கு என்டோபிளாஸ்மிக் வலே அத்தகைய செல் தட்டினேக் கிழித்துக்கொண்டு செல்வதைப் பார்த்திருக்கின்றனர்.

ஆனல் என்டோபிளாஸ்மிக் வலே மேற்கண்ட பிளாஸ்மோடெஸ்மேடா அமைப்பில் காணப்படுவதில்லே. ஏனெனில் செல் சுவரின் குழிகளில் உள்ள அமைப்புகளான பிளாஸ்மோடெஸ்மேடாக்களே ஆய்ந்து பார்த்ததில் அவற்றின் மையப் பகுதிகளில் என்டோபிளாஸ்மிக் வலேகளின் சவ்வு அமைப்புகள் தென்படவில்லே. எனவே பிளாஸ்மோடெஸ்மேடா என்ற கால்வாய்களின் வழியாக என்டோபிளாஸ்மிக் வலேகள் செல்கின்றனவா என்பதைத் தெளிவாக ஆய்ந்தறிய வேண்டும்

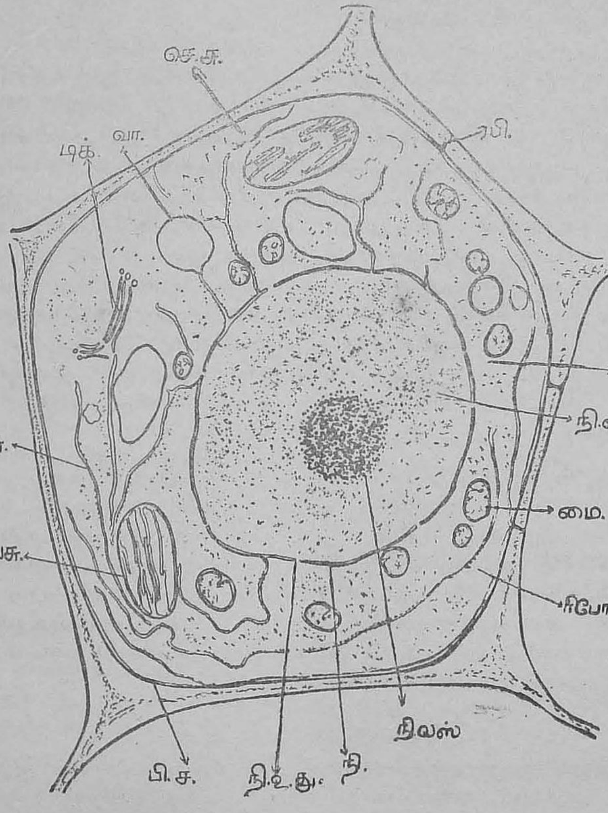
டிக்டியோஸோம்கள் (Dictyosomes):

ஸைடோபிளாசத்தில் பல குமிழிகள் தென்படுகின்றன. இவை சவ்வு சூழ்ந்த அமைப்புகள். இவை டிக்டியோஸோம்களுக்கு அருகில் தெளிவாகத் தென்படுகின்றன. டிக்டியோஸோம்களேத் தாவர செல்களில், ஒரு சில சந்தர்ப்பங்களில்தான் சாதாரண நுண்ணேக்கியின் வழியாகக் காண முடியும்.

எனவே அவற்றைப்பற்றிய கருத்துக்கள் எலெக்ட்ரான் நுண்ணேக்கியில் காணும் அமைப்பை அடிப்படையாகக் கொண்டவை.

ஒரு டிக்டியோசோம் தட்டையான பைகள் பல ஒன்றின்மேல் ஒன்று அடுக்கப்பட்டதுபோல் காணப்படும்.

இந்தப் பைகள் நடுப்புறத்தில் தட்டையாக உள்ளன. ஒரு பையை எடுத்துக்கொண்டால் அதன் விளிம்புப் பகுதிகளில் பல நுண்குழல்கள் பின்னிக்கொண்டு காணப்படுகின்றன. இத்தகைய அடுக்கு ஒன்றைக் குறுக்கே வெட்டுவதாகக் கொள்வோம். இந்த வெட்டுத் தோற்றமே படம் 1.3-ல் காணப்படுகிறது. இவற்றின்



1.3. எலெக்ட்ரான் நுண்ணோக்கியில் செல்லின் தோற்றம்
தாவர செல் ஒன்றின் வெட்டுத்தோற்றம்.

செ. சு. — செல் சுவர்.
என். — என்டோபிளாஸ்மிக் வலை.
டிக். — டிக்டியோஸோம் (சிஸ்டேர்ன்கள்) என்டோபிளாஸ்மிக் வலைகளுக்கு அருகிலுள்ளன. குமிழிகள் தூரத்தில் இருக்கின்றன.
வா. — வாக்குவோல்கள் சிறியனவாகக் காணப்படுகின்றன.
பி. — பிளாஸ்மோ டெஸ்மேடா.
ஸை. — ஸைடோபிளாஸம்.
நி ஸம். — நியூக்ளியோ பிளாஸம்.
மை — மைட்டோகோன்ட்ரியா.
ரி போ. — ரிபோஸோம். இவை என்டோபிளாஸ்மிக் வலைச் சவ்வின்மேல் ஸைடோபிளாஸப் பகுதியில் காணப்படுகின்றன. ஸைடோபிளாஸத்திலும் இவை விரவிக் கிடக்கின்றன.
நி. லஸ். — நியூக்ளியோலஸ்.
நி. — நியூக்ளியஸ் மற்ற பகுதிகளைவிட பெரியதாகக் காணப்படுகிறது.
நி. உ. து. — (எலெக்ட்ரான் நுண்ணோக்கியில்) நியூக்ளியஸ்ஸின் உறைத் துவாரங்கள் தென்படுகின்றன.
பி. ச. — பிளாஸ்மா சவ்வு.
ப. சு. — பசுங் கணிகம். உள்ளுறைச் சவ்வு மடிப்புகளைக்கொண்டிருத்தலைக் கவனிக்கவும்.

நடுப்பகுதிகள் இழைகள்போல் தென்படுகின்றன. அவற்றின் குறுக்களவு 70A° என்று கணக்கிடுகின்றனர். இவைகளுக்கிடையே 150A° இடைவெளிகள் காணப்படுகின்றன. இந்த அமைப்புகளின் செயல்கள் இன்னும் தெளிவாகவில்லை.

ஒவ்வொரு டிக்டியோசோமிலும் இரு நுனிகள் இருப்பதாகக் கூறுகின்றனர். ஒரு நுனியில் பைகளைத் தோற்றுவித்தலும் மறு நுனியில் டிக்டியோஸோம் குமிழிகளைத் தோற்றுவித்தலும் நிகழ்கிற தென்பர். இதனால் முதல் பகுதி நுனியை இளம் பகுதி என்றும் குமிழிகளை உண்டாக்கும் பகுதி நுனியை முதிர்ந்த பகுதி என்றும் குறிப்பிடுகின்றனர். குமிழிகள் ஸைடோபிளாசத்தில் காணப் படுவதாக முன்னரே கண்டோம்.

கதிரியக்க குளுகோஸ் சர்க்கரையை உபயோகித்து நிகழ்த்திய ஆய்வுகளில் டிக்டியோசோம்கள், செல்லுலோஸ் கலப்பற்ற சில பாலிஸேக்கரைடுகளை உற்பத்தி செய்கின்றன என்று கண்டுபிடித் துள்ளனர். இந்த செல்லுலோஸ் அற்ற பாலிஸேக்கரைடுகள் (Non-cellulosic polysaccharides) சுவருடன் சேர்க்கப்படுவதைக் கீழ் வருமாறு வர்ணிக்கின்றனர்.

டிக்டியோஸோம் குமிழிகளில் இவை உற்பத்தியாகின்றன. இந்தக் குமிழிகள் பிளாஸ்மா சவ்வுடன் சேர்ந்து செல் சுவரை அடைகின்றன.

செல்லின் பிளாஸ்மா சவ்வுடன் இவை இணைவது ஒரு குறிப் பிடத்தக்க அம்சமாகும். இதனால் பிளாஸ்மா சவ்வின் பரப்பு அதிக மாகிறது. அந்த மிஞ்சிய பரப்பைக் குறைக்க பிக்னோஸைடோடிக் (Picnocytotic) குமிழிகள் பிளாஸ்மா சவ்விலிருந்து தோன்றி ஸைடோபிளாசத்தினுள் இழுத்துக்கொள்ளப்படலாம்.

டிக்டியோசோம்களின் எண்ணிக்கை செல்லுக்குச் செல் வேறு படுகிறது. ஆக்குத் திசுக்கள் அமைந்த வேரின் நுனிப் பகுதிகளி லுள்ள செல்களில் 30 டிக்டியோசோம்கள் காணப்படலாம். சில ஆல்ஜி பாசிகளில் காணப்படும் பெரிய ரைஸாய்டு செல்களில் 30,000 டிக்டியோசோம்கள் காணப்படலாம். ஒவ்வொரு டிக்டியோ சோமிலும் அமைந்த சிஸ்டேர்னேகளின் எண்ணிக்கையும் (Number of Cisternae) அவற்றின் அளவும், டிக்டியோசோம் குமிழிகளின் எண்ணிக்கையும் செல்லின் வயதிற்குத் தக்கபடியும், அதன் செயலை ஒட்டியும் வேறுபடுகிறது.

பொதுவாகச் சுவர்களைக் கட்டும் பணியில் ஈடுபடும் செல்களில் இவற்றின் எண்ணிக்கை அதிகமாகக் காணப்படுகிறது. மேலும்

செல் தட்டு உண்டாகும் (Cell plate formation) காலங்களில், செல்லின் சில தனிப்பட்ட பகுதிகளில் டிக்டியோசோம்கள் காணப் படுகின்றன.

டிக்டியோசோம்களின் சிஸ்டெர்ன் பகுதிகள் என்டோபிளாஸ் மிக் வலைக்கு வெகு அருகாமையில் தென்படுகின்றன. விலங்கினத் தில் என்டோபிளாஸ்மிக் வலையிலுள்ள பொருள்கள் டிக்டியோ சோம்களை அடைகின்றன.

உயிருள்ள செல்களில் டிக்டியோசோம்கள் இருப்பதைத் திட்ட வட்டமாகத் தெரிந்துகொண்டால்தான், அத்தகைய உறுப்புகளின் வினைகளை இன்னும் தெளிவாக வரையறுக்க முடியும்.

எலெக்ட்ரான் நுண்ணோக்கியின் வழியாகக் காணும்போது, இவை செல் சுவரைக் கட்டும் பணியில் ஒரு பகுதியையேனும் செய்யலாம் என்று தெரிகின்றது.

இவையனைத்தையும் ஆய்ந்து பார்க்கும்போது ஒரு சில மைக்ரான் அளவில் அடங்கும் செல்லின் அமைப்பில் அதைவிட நுண்ணிய சிக்கலான அங்கங்கள் பல அடங்கியிருப்பது புலனாகும். அவை சீரிய முறையில் அமைக்கப்பெற்றுள்ளன. இவற்றின் நுணுக்கம் இயற்கையின் திறனுக்கு ஒரு குறியீடாகும். ஒரு செல்லின் அமைப்பில் அதன் செயல்களும் பிணைந்திருக்கின்றன. எனவே அமைப்பும் செயலும் இணைபிரியா அம்சங்களாகின்றன. புரோட்டோ பிளாசத்தின் அங்கங்கள் என்று அழைக்கும் பசுங் கணிகங்கள், மைட்டோகோன்ட்ரியா, போன்றவைகளின் அமைப் பில் எங்ஙனம் அவற்றின் செயல்களான ஒளிச்சேர்க்கையும், சுவாசித்தலும் இணைந்துள்ளன என்பதைப் பின்னர் காண்போம்.

DNA மூலக்கூறுகளும் மேற்கண்ட முறைப்படி சீரிய செயல் அமைப்புத் திறனையுடையன. இவை மிக நுண்ணிய மூலக் கூறுகள். பசுங்கணிகம் சாதாரண நுண்ணோக்கியில் தென்படும்; ஆனால் மேற்கண்ட DNA மூலக்கூறுகளை எலெக்ட்ரான் நுண்ணோக்கியில்தான் எளிதில் காண முடியும். இவைகள் ஒரு உயிரியின் இயல்புகள் அனைத்தையும் நிச்சயிக்கின்றன என்று கண்டுள்ளனர். எனவே அண்மைக் கால அரிய படைப்புகளான கம்ப்யூட்டர்கள் (Computers) கூட நுணுக்கத்தில் பின்னிட்டுப் போகின்றன. ஏனெனில் உயிரியக்கத்தின் மாற்றங்கள் அனைத்தும் பின்னிப் பிணைந்த, சிக்கலானதொரு அமைப்பாகும். செல்லின் அமைப்பில் பல உறுப்புகள் காணப்படுவதைப் பார்த்தோம். இவை களின் செயலால் உயிர்வேதியியல் மாற்றங்கள் நிகழ்கின்றன.

தாவரங்கள் உணவுப் பொருள்களைக் கட்டுகின்றன. வளர்மாற்றங்களில் பங்குகொள்கின்றன. தாம் கட்டிப் பொருள்களைச் சிதைத்து சக்தியை வெளிக்கொண்டு வருகின்றன. ஏனெனில், வளர் சிதை மாற்றங்கள் அனைத்திற்கும் சக்தி தேவைப்படுகிறது. எனவே சிதை மாற்றங்களினுல் ஏராளமான சக்தி உற்பத்தி நிகழ்கிற தெனலாம். ATP என்ற உருவில், உயிர்வேதியியல் சக்தி (Biochemical energy) வளர்சிதை மாற்றங்கள் அனைத்திலும் பங்கேற்பதைப் பின்வரும் பக்கங்களில் காண்போம்.

தாவர வாழ்க்கையே வளர்சிதை மாற்றத்தினுல் இயங்குகிற தெனலாம். ஒரு சில தாவரங்கள், பல நூறு ஆண்டுகள் தளராது வளர்ந்து, வானளாவி நிற்பது, அவற்றின் விந்தையான வளர் சிதை மாற்றத்திற்கு ஒரு குறியீடாகுமல்லவா!

2. தாவரங்களில் காணப்படும் பொருள்கள்

உயிர்களின் தோற்றம், உயிர்களின் வகைகள் என்றெல்லாம் குறிப்பிடும்போது உயிர்களில் என்ன பொருள்கள் காணப் படுகின்றன என்ற ஆர்வம் எழலாம்.

உயிரிகள் பலதரப்பட்ட அங்ககப் பொருள்களைக் கொண்டிருக் கின்றன. இவை உயிரிகளின் மூலமாகத்தான் கிடைக்கின்றன. எனவே எந்த ஒரு அங்ககப் பொருளை நாம் கண்டெடுத்தாலும் அது ஓர் உயிரியினால் தோன்றியது என்பதை வரையறுக்க முடியும். ஆனால் இன்று பல அங்ககப் பொருள்களை ஆய்வுக் கூடங்களில் தயாரிப்பதை அறிவோம். எனினும் அவை மேற்கண்ட இயற்கை யான உயிர்களின் அமைப்பை ஆய்ந்து உற்பத்தி செய்யப்பட்டவை யாகின்றன. மேலும் இவை எளிய அமைப்பையுடைய பொருள் களாகவே இருக்கின்றன. சிக்கலான அமைப்பையுடையவை கட்டப்படுதல் அரிது.

உயிர்களில் பல அங்ககப் பொருள்கள் காணப்படுகின்றன. செல்கள் எனக் குறிப்பிடப்படும் சிறு அலகுகளை ஆய்ந்து பார்த்தால் உயிர்களில் காணப்படும் அங்ககப் பொருள்களின் வகைகளை அறியலாம். பல கச்சாப் பொருள்களை உபயோகித்து பல சிக்கலான அங்ககப் பொருள்களை செல்கள் கட்டுகின்றன. ஒவ்வொரு தாவர உயிரியின் தேவைகளும் வேறுபடுகின்றன. பொதுவாக தாவரங்கள் நீரையும், ஒரு சில அங்ககப் பொருள் களையும், அவைகளிலிருந்து கிடைக்கும் நைட்ரஜன், ஃபாஸ் ஃபேட்டு கூட்டுப் பொருள்களையும், பல அனங்கக உப்புக்களையும் பயன்படுத்துகின்றன. சூரிய ஒளியை உபயோகித்து தாவரங்கள் தமக்குத் தேவையான பல எண்ணிறந்த அங்ககப் பொருள்களைத் தயாரிக்கின்றன. ஆனால் விலங்கினங்கள் பொருள்களின் சேர்க்கையில் ஈடுபடும் திறமையற்றன. அனங்ககப் பொருள்களை உபயோகித்து கார்போஹைடிரேட்டுகள், புரதம், கொழுப்பு

போன்ற பொருள்களைக் கட்டும் சக்தி தாவரங்களில்தான் காணப் படுகிறது. இதனால் விலங்கினம் மேற்கண்ட உணவுப் பொருள் களைப் பெறுவதற்குத் தாவரங்களை நாடுகின்றன.

உயிரிகளில் சிறப்பாகக் காணப்படுவது புரதமும் நியூக்ளிக் அமிலங்களுமாகும். இவைகளில் புரதங்கள்தான் ஏராளமாகக் காணப்படுபவை எனலாம். புரதங்களில், கட்டுமானப் புரதங்கள் எனவும், கரையும் புரதங்கள் எனவும் இரு வகைகள் காணப் படுகின்றன. இவைகளில் முன் கண்டவை சவ்வுகளிலும், சவ்வு களால் அமைக்கப்பெற்ற பசுங்கணிகங்களிலும் மைட்டோ கோண்ட்ரியாவிலும், மற்றும் பல செல்களின் அங்கங்களிலும் காணப்படுகின்றன. கரையும் தன்மை இவைகளுக்கு இல்லை. எனவே நீர், அல்லது மற்றக் கரைப்பான்களில் இவை கரையா.

கரையக்கூடியப் புரதங்கள் பெரிய மூலக்கூறுகளாக உள்ளன. 1926-ல் ஸ்பெட்பெர்க் (Spedberg) என்பவர் ஒரு புதிய முறையைக் கையாண்டு அத்தகைய புரதங்களின் எடையை நிச்சயித்தார். நீரில் நாம் மணலைக் கலக்கினால், பெரிய மண் தூள்கள் நீரில் அமுழ்ந்திவிடுகின்றன. ஆனால் லேசானவை மிதக்கின்றன. இங்ஙனம் பெரிய துகள்கள் நீரில் அமுழ்ந்துவது புவிஈர்ப்பு சக்தியினால் ஏற்படுகிறது. சென்ட்ரிப்யூஜ்களில் இந்தப் பண்பினை உபயோகித்து புரதங்கள் போன்ற பொருள்களைப் பிரித்தெடுத்தனர். ஸ்பெட்பெர்கின் திறனால் ஏற்படுத்திய மேற் கண்ட கருவி உருளை வடிவம் கொண்டது. ஒரு செகண்டிற்கு ஆயிரம் சுற்றுகள் வீதம் இதனைச் சுற்றும்போது புரதங்கள் படிந்துவிடும் வேகம் அதிகமாகிறது. அந்த வேகத்திலிருந்து புரதங்களின் எடையை நிச்சயிக்கலாம் என்று கண்டுபிடித்தார்.

1867-ல் ஹீமோகுளோபின் (Haemoglobin) என்ற புரதம் படிகமாக்கப்பட்டது. படிகங்கள் தோன்றும்போது அசுத்தங்கள் அகற்றப்படுகின்றன. ஏனெனில் அத்தகைய அசுத்தங்கள் கரை சலிலேயே தங்கிவிடுகின்றன.

1930-ல் கரையக்கூடிய புரதங்கள் உயிர் வேதியியல் கிரியை களில் பங்கு கொள்கின்றன என்று கண்டுபிடித்தனர். பல ஆண்டுகளாக சில நுண்ணுயிர்களான ஈஸ்ட்டு செல்கள் கார்போ ஹைடிரேட்டுகளை சிதைக்கும் தன்மையைப் பெற்றிருந்ததைக் கண்டனர். புக்னெர் (Buchner) மேற்கண்ட ஈஸ்ட் செல்களி லிருந்து பிரித்தெடுத்த சாரமே சர்க்கரையை நொதிக்கச் செய் கிறது. கோதுமை மாவைப் புளிக்க வைக்கிறது என்று கண்டு பிடித்தார். இதனால் இவர் உயிரற்ற பொருள்களும் (செல்லின்

சூழ்நிலையற்ற) உயிர்வேதியியல் மாற்றங்களில் பங்கு கொள்வதைக் கண்டுபிடித்தார். என்ஸைம் என்ற பதத்திற்கு 'ஈஸ்டில்' உள்ள பொருள் என்று பெயர்.

பின்னர் பல நொதிகளின் கிரியைகள் தெளிவாயின.

1926-ல் ஸம்னர் (Summer) ஜேக்பீன், என்ற அவரை இனத்தின் விதைகளிலிருந்து யூரியேஸ் என்ற புரதத்தினைத் தனியாகப் பிரித்தெடுத்தார். இது யூரியா (Urea)வை சிதைக்கும் தன்மையைப் பெற்றிருந்தது. பல ஆய்வுகளின் பயனாக நொதிகளும் புரதங்களாலானவை எனக் கண்டுபிடித்தனர்.

ஹார்டனும் யங்கும் (Harden & Young) 1966-ல் ஈஸ்டின் சாரம் சர்க்கரையை நொதிக்கச் செய்கிறது எனவும், அதனை டயலிஸிஸ் (Dialysis) என்ற பகுக்கும் முறைக்கு உட்படுத்தினால் அந்தச் சாரத்திலிருந்து நொதிக்கும் தன்மை அகன்று விடுகிறது என்றும் கண்டுபிடித்தனர். மேற்கண்ட டயலிஸிஸ் முறையில், ஈஸ்ட்டு சாரத்தை ஒரு கூறு புகவிடும் சவ்வு பைக்குள் ஊற்றி நீருள்ள பாத்திரத்தில் வைக்கவேண்டும். பிறகு சவ்வு பையிலிருந்த அந்த சாரத்தை சர்க்கரையுடன் சேர்த்தால் சர்க்கரை நொதிப்பதில்லை. எனவே மேற்கண்ட சாரத்திலடங்கிய பெரிய மூலக் கூறுகளோடு இணைந்திருந்த சிறிய மூலக்கூறுகள் பிரிக்கப் பட்டன என்பது தெளிவாகியது. இவை தனித்தனியே சர்க்கரையை நொதிக்கச் செய்வதில்லை. ஆனால் இரண்டும் சேர்ந்திருந்தால்தான் நொதிகளின் கிரியைகள் நடைபெறுகின்றன. எனவே நொதிகளாகிய புரதப் பகுதிகளுடன் சிறிய, புரதமற்ற மூலக் கூறுகள் இணைநொதிகளாக வினைபுரிகின்றன என்று கண்டுபிடித்தனர். மேலும் புரதப்பகுதிகள் வெப்பநிலையால் பாதிக்கப்படுகின்றன (Thermolabile). ஆனால் இணைநொதிப் பகுதிகள் வெப்ப நிலையால் பாதிக்கப்படுவதில்லை (Thermostable). இத்தகைய இணைநொதிகள் பல உயிர்வேதியியல் கிரியைகளில் பங்கு கொள்ளும் (புரதம்) நொதிகளுக்குத் தேவைப்படுகின்றன.

இத்தகைய இணைநொதிகளில் பல, வைட்டமின் எனப்படும் பொருள்களிலிருந்து தோன்றியவையாகின்றன. ஃபன்க் என்பவர் இவைகளுக்கு வைட்டமின்கள் என்று பெயரிட்டார், அத்தகைய வைட்டமின்களில் B பிரிவைச் சேர்ந்த நிகோடினிக் அமிலம் (Nicotinic acid), ரைபோஃளேவின் (Riboflavin), பேன்டோதினிக் அமிலம், தயாமின் போன்றவையனைத்தும் வளர்சிதை மாற்றங்களிலெல்லாம் பங்குகொள்ளும் நொதிகளுக்கு இணை

நோதிகளாகின்றன. எனவே இவைகளின் சிறப்பு தெளிவாகின்றது.

இங்ஙனம் பலதரப்பட்ட வைட்டமின்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன.

தாவரங்கள் தமக்குத் தேவைப்படும் வைட்டமின்கள் அனைத்தையும் தாமாகவே உற்பத்திசெய்கின்றன. ஈஸ்ட் போன்ற நுண்ணிய தாவர உயிரிகள் தமக்குத்தேவைப்படும் வைட்டமின்கள் அனைத்தையும் உற்பத்தி செய்கின்றன. விலங்கினம் வைட்டமின்களின் தேவையைத் தம் உணவினால் ஈடுசெய்கின்றன. அதாவது தாம் உட்கொள்ளும் உணவில் குறிப்பதாகும். வைட்டமின்களும் சேரவேண்டும் எனலாம். பல நுண்ணுயிரிகள், வைட்டமின்கள் காணப்படும் சூழ்நிலையில் வளருகின்றன. எனவே புரதங்கள் தம் வினைகளுக்கு வைட்டமின்களைத் துணைகொள்ளுகின்றன எனலாம். உயிரிகளில் அடங்கியுள்ள பொருள்களில் தலையாயவை புரதங்களும் அவற்றுடன் இணையாக வினைபுரியும் வைட்டமின்களும் எனக் கண்டோம். இனி அத்தகைய புரதங்களின் உருவ அமைப்பென்ன என்பதை அறிவோம்.

புரதம் :

புரதம் பல சிறிய மூலக் கூறுகளால் கட்டப்பெற்ற பெரிய மூலக்கூறு (Polymer). புரதத்தின் அடிப்படை அலகு அமினோ அமிலம் பகுதியாகும். இதில் இரு கார்பன்களும், ஒரு நைட்ரஜனும், அவற்றின் இணைக்கும் அணுக்களும் கீழ்வருமாறு அமைந்துள்ளன.

```
        H
 —N—C—C—
   |   |   |
   H  R  O
```

N = நைட்ரஜன்

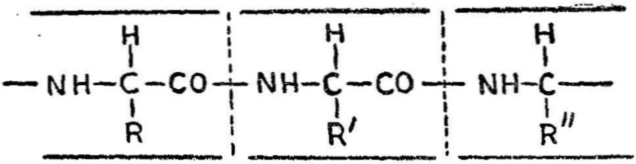
C = கார்பன்

O = ஆக்ஸிஜன்

H = ஹைடிரஜன்

R = பக்க சங்கிலி அல்லது ஒரு அணு.

இத்தகைய சிறு அலகுகள் பல அமைந்த சங்கிலித் தொடரே புரதமாகும். இவை ஒன்றுடன் ஒன்று இணைந்து, 'அமைடு இணைப்புகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன.



படம் 2.2.

புரதச் சங்கிலியின் ஒரு பகுதி. பக்க சங்கிலிகள் = R, R', R''.

மேற்கண்ட தொடர் அமைப்பில் வரும் அமினோ அமிலங்களுடைய தன்மை, பக்க சங்கிலிகளின் அமைப்பினால் வேறுபடுகின்றது. சுமார் 20 வகை அமினோ அமிலங்கள் உள்ளன.

அமினோ அமிலங்களின் வகை, அவை அமைந்திருக்கும் வரிசை இவற்றை மாற்றுவதன் மூலம் எண்ணிறந்த வகைப் புரதங்களைக் கிட்ட முடியும்.

அமினோ அமிலங்களின் தன்மையை நிச்சயிப்பவை அவற்றின் பக்க சங்கிலிகள் என்று கண்டோம். ஒரு சில அமினோ அமிலங்கள் நடுநிலை அமிலங்களாகக் காணப்படுகின்றன. அதாவது அவை அமிலமாகவும் வினைபுரிவதில்லை; காரமாகவும் வினைபுரிவதில்லை.

அஸ்பார்டிக் அமிலம், குளூடாமிக் அமிலம் (Aspartic acid and glutamic acid) போன்றவை அமிலத் தன்மையைக் கொண்டிருக்கின்றன. லைசைன் (Lysine), ஆர்ஜினைன் (Arginine) போன்றவை காரத் (Basic) தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றன. இதனால் மேற்கண்ட புரத சங்கிலித்தொடரின் பல பகுதிகள் வெவ்வேறு தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றன எனலாம். அமிலமும் காரமும் ஒன்று சேர்ந்தால் உப்பு உண்டாகிறது என அறிவோம். புரதச் சங்கிலி மடிந்தால் அமிலப் பகுதிகள் காரப் பகுதிகளோடு சேர்கின்றன. அப்போது உப்பு போன்ற அமைப்புகள் தோன்றுகின்றன. இத்தகைய இணைப்புகளினால் புரதச்சங்கிலி மடிந்து, அந்த மடிப்புக்கள் நிலைத்து நிற்பது சாத்தியமாகிறது.

ஸல்பர் அணுக்களைக் கொண்ட அமினோ அமிலங்களில், ஸிஸ்டீன் (Cysteine) எனப்படும்அமினோ அமிலம் ஒன்றாகும். 'பெப்டைட்' சங்கிலிகள் ஒன்றாக இணைவதற்குக் காரணமாக ஸிஸ்டீன் பகுதிகளின் ஸல்ஃபர் அணுக்கள் உதவுகின்றன.

புரதங்களின் அமைப்பைஅறிவதற்கு அவற்றைச் சிறு பகுதிகளாகச் சிதைத்து, ஒவ்வொரு பகுதியிலும் அமினோ அமிலங்கள் காணப்படும் முறையை அறிய வேண்டும்.

மிகச் சிறிய அமைப்பையுடையது என அழைக்கப்படும் இன்ஸுலின் (Insulin) மூலக்கூறு 51 அமினோ அமிலப் பகுதிகளைக் கொண்டிருக்கிறது. இதனை டாக்டர் எஃப். ஸேன்கர் என்பவர் ஆய்ந்தறிந்தார். மேற்கண்ட 51 அமினோ அமிலப் பகுதிகள் இரு சங்கிலிகளில் காணப்படுகின்றன. ஒன்றில் 20 அமினோ அமிலப் பகுதிகளும் மற்றொன்றில் 31 அமினோ அமிலப் பகுதிகளும் காணப்படுகின்றன. இரண்டு சங்கிலிகளில் காணப்படும் ஸிஸ்டின் - ஸிஸ்டின் பகுதிகளிடையே S-S இணைப்புகள் தோன்றுகின்றன. ஒரே சங்கிலியிலும் S-S. இணைப்பு காணப்படுகிறது. இத்தகைய S-S இணைப்பு தோன்றுவதற்கு அந்த சங்கிலி மடிந்திருக்க வேண்டும். (படம் 2:1) இந்தப் புரதம் விலங்கு, மனிதன் போன்ற உயிரிகளில் காணப்படுகிறது. நீரிழிவு நோயாளிகள் எனப்படுபவர், மேற்கண்ட இன்ஸுலின் உடலில் இன்மையால் சர்க்கரையை செரிக்க முடியவில்லை. இதனை ஈடு

படம் 2.1.

ஃபீ=ஃபீனைல் அலனைன், வே=வேலைன். அஸ்ஜி=அஸ்பாரிஜின், க்ளுமை=க்ளுடைமன், ஹிஸ்=ஹிஸ்டிடீன், ல்யூ=ல்யூஸைன், ஸிஸ்=ஸிஸ்டீன், க்ளு=க்ளுடமேட், ஸீர்=ஸீரைன். அல=அலனைன், டைரோ=டைரோஸின், க்ளை=க்ளைஸைன். ஆர்ஜி=ஆர்ஜினைன், த்ரி=த்ரியோனைன், ப்ரோ=ப்ரோலைன், ஐல்யூ=ஐஸோல்யூஸைன். ப்ரோ=ப்ரோலைன்=ஸல்ஃபர் பாலம்.

செய்வதற்கு விலங்கிலிருந்து எடுத்த இன்ஸுலினை உபயோகிக் கின்றனர். இதனால் இவர்கள் நீண்ட நாள் வாழமுடிகிறது.

ரிபோநியூக்ளியேஸ் (Ribonuclease) என்ற மற்றொரு புரதத்தின் அமைப்பினை ஹிர்ஸ் ஸ்டீன், ஸ்டான்ஃபோர்ட்மூர் என்ற மூவர் கண்டறிந்தனர். இது இன்ஸுலின் மூலக்கூறினைவிட இரு மடங்கு பெரியது. இதில் 124 அமினோ அமிலப் பகுதிகள் காணப்படுகின்றன. இவை அனைத்தும் ஒரே சங்கிலியில் அமைந் துள்ளன. இது பல முறை மடிந்து காணப்படுகிறது.

இங்ஙனம் பல புரத வகைகளை ஆய்ந்ததில் உண்மை ஒன்று வெளிப்பட்டது. சான்றாக இன்ஸுலின் மூலக்கூறு விலங்குகளில் காணப்படுவதாகக் கண்டோம். ஆனால் பசு, பன்றி, ஆடு போன்ற உயிரிகளில் இன்ஸுலின் மூலக்கூறின் அமைப்பில் வேற்றுமை காணப்படுகிறது. இந்த வேற்றுமை அமினோ அமிலங்களின் எண்ணிக்கையையோ புரதங்கள் மடிக்கப்பட்டிருக்கும் விதத் தையோ பொறுத்துத் தோன்றவில்லை. கீழ்வரும் முறைப்படி ஒரு சில அமினோ அமிலப் பகுதிகளுக்கும் பதில் வேறு சில அமினோ அமிலப் பகுதிகளில் காணப்படுகின்றன. படம் 2.1 இரண்டாவது சங்கிலியின் இடைப் பகுதியில் இந்த வேற்றுமையுள்ளது.

பசு	பன்றி	ஆடு
அலலைன்	த்ரியோனைன்	அலனைன்
|	|	|
க்ளைசைன்	ஸீரைன்	ஸீரைன்
|	|	|
வேலைன்	ஐஸோல்யூலைன்	வேலைன்

எனவே பசுவில் அலனைன் காணப்படும் இடத்தில் பன்றியி னுடைய இன்ஸுலின் மூலக்கூறு த்ரியோனைனைப் பெற்றிருக்கும். பசு க்ளைசைன் என்ற அமினோ அமிலத்தைப் பெற்றிருக்கும் இடத்தில் பன்றியும் ஆடும் ஸீரைனைப் பெற்றிருக்கின்றன. பசுவும் ஆடும் வேலைன் என்ற அமினோ அமிலப் பகுதியைப் பெற்றிருக்கும் இடத்தில் பன்றி ஐஸோல்யூஸைனைப் பெற் றிருக்கும். புரத மூலக்கூறுகளின் தன்மை (அதாவது சர்க்கரையைச் செரித்தல்) ஒன்றாக இருந்தபோதும், அவற்றின் அமைப்பில் மேற்கண்ட வேறுபாடுகள் இருப்பதைக் காண்கிறோம்.

அமினோ அமிலப் பகுதிகள் புரதச் சங்கிலிகளில் காணப்படும் இடத்தைமட்டும் அறிந்தால் போதாது. அவற்றின் உருவ அமைப்பினையும் அறிய வேண்டும். எக்ஸ் கதிர்களை (X-rays புரதப் படிகங்களின்மேல் செலுத்தினர். படிகம் என்பவை மூலக்

கூறுகளின் ஒழுங்கான சீரமைப்பைக் காட்டுகின்றன. எக்ஸ் கதிர்கள் இதனை ஊடுருவிச் செல்லும்போது அவை பல திக்குகளில் சிதறடிக்கப்படுகின்றன. இங்ஙனம் பல மூலக்கூறுகளினால் சிதறடிக் கப்பட்ட ஒளிக்கற்றையின் கோலம் புகைப்படத் தட்டுகளில் (Photographic plate) பதிக்கப்படலாம். மேற்கண்ட அமைப்பி லிருந்து, அடுத்து அடுத்து வரும் அமினோ அமிலப் பகுதிகளின் உருவ அமைப்பினை நிச்சயிக்கலாம். இந்த ஆய்வு முறையை 'X-ray diffraction studies' என்றழைக்கின்றனர். புரத மூலக் கூறின் சிக்கலான அமைப்பினால் மேற்கண்ட முறைப்படி ஆய்தல் கடினமாகிறது என்று கூறுகின்றனர். எனினும் ஹீமோ குளோபின் மூலக்கூறின் அமைப்பினை டாக்டர் எம். எஃப். பெருட்ஜ் (Dr. M. F. Perutz) என்பவரும், மையோகுளோபின் (Myoglobin) மூலக்கூறு அமைப்பினை டாக்டர் ஜே. ஸி. கென்ட்ரூ (Dr. J. C. Kendrew) என்பவரும் கண்டறிந்தனர்.

பலவகைப் புரதங்கள் நொதிகளாக வினை புரிகின்றன என்று அறிவோம். உயிர் வேதியியல் மாற்றங்களில் இவை பங்கு கொள் கின்றன. அவைகளைக் கிரியா ஊக்கிகள் என்றும் அழைப்பர். தளப் பொருள்களோடு அவை இணைந்து மேற்கண்டபடி உயிர் வேதியியல் கிரியைகளை நிகழ்த்துகின்றன. இதற்கென புரத அமைப்பில் 'கிரியா மையங்கள்' (Active centres) காணப்படுதல் வேண்டும். அத்தகையப் பகுதிகளோடு தளப் பொருள்கள் இணைந்தால்தான் அவற்றின் அணுக்களிடையே காணப்படும் இணைப்புகளில் மாற்றம் அல்லது வெளிப்புறத்திலுள்ள அணுக் களின் சேர்க்கை போன்ற பல உயிர் வேதியியல் மாற்றங்கள் நிகழ முடியும். இத்தகைய மையங்களின் இயற்கையை அறியோம். இந்த மையங்கள் ஒத்த அமைப்பில் பல பொருள்கள் காணப்பட்ட போதும் அவற்றில் தம் வினைகளுக்குரிய பொருளைத் தேர்ந் தெடுக்கும் கூர்மையைப் பெற்றிருக்கின்றன.

கார்போஹைடிரேட்டு

உயிர் வேதியியல் மாற்றங்களைக் கண்டறிவதில் விலங்கிலும், தாவரத்திலும் புரதங்களைத் தவிர கார்போஹைடிரேட்டுகளே கார்பன் கூட்டுப் பொருள்களில் முக்கியமானவை என்று எமில் ஃபிஷர் (Emil Fischer 1890) குறிப்பிட்டார்.

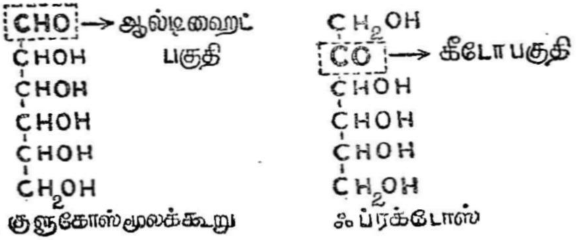
கார்போஹைடிரேட்டு என்ற பெயர் பண்டைய நம்பிக்கையைப் பிரதிபலிப்பதாகும். அப்போது ஹைடிரஜனும், ஆக்ஸிஜனும் 2:1 என்ற விகிதத்தில் இருந்தால் அவைகளை ஹைடிரேட்டுகள் என்று கருதவேண்டும் என்று கருதினர். சூக்ரோஸ், குளூகோஸ், தரசம்

போன்றவற்றின் அமைப்பில் மேற்கண்ட கருத்து ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டாலும் ரேம்னஸ் (Rhamnose $C_6H_{12}O_5$) போன்ற வற்றில் ஹைடிரஜன், ஆக்ஸிஜன் விகிதம் வேறுபடுகின்றது. எனினும் இவற்றிற்குக் கார்போஹைடிரேட்டு (Carbohydrate) என்ற பெயரையே அளித்துள்ளனர்.

கார்போஹைடிரேட்டுகளை மூன்று பிரிவின்கீழ் வகைப்படுத்தி யுள்ளனர். குளுகோஸ், ஃப்ரக்டோஸ் எனப்படுபவை தனிச் சர்க்கரைகள் (Monosacharides) எனவும், பத்து சர்க்கரை மூலக் கூறுகளுக்கு குறைவான மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட பல சர்க்கரை களின் கூட்டுகளைச் சிறுகுழு சர்க்கரைகள் (Oligosaccharides) எனவும், தரசம், ஸெல்லுலோஸ் போன்ற பல சர்க்கரைக் கூட்டு களில் நூற்றுக்கணக்கான தனிச் சர்க்கரை மூலக்கூறுகளைக் கொண்டுள்ளதால் பல கூறு சர்க்கரைகள் (Polysaccharides) எனவும் அழைத்தனர். ‘சிறுகுழுச் சர்க்கரைகளில்’ காணப்படும் தனிச் சர்க்கரைகளின் எண்ணிக்கையை எளிதில் கூறும் வகையில் அவற்றை இருகூறு சர்க்கரைகள் (Disaccharides) அல்லது நான்கு கூறு சர்க்கரைகள் (Tetrasaccharides) எனக் குறிப்பிடலாம். ஏனெனில் அவற்றின் எண்ணிக்கை பத்துக்கும் உட்பட்டிருக்கிறது. குளுகோஸ் என்றால் கிரேக்க மொழியில் இனிப்பு என்று பொருள். லத்தீன் மொழியில் ஃப்ரக்டஸ் (Fructus) என்ற பதத்திற்குப் பழங்களில் உள்ள சர்க்கரை என்று பொருள்.

குளுகோஸும், ஃப்ரக்டோஸும்

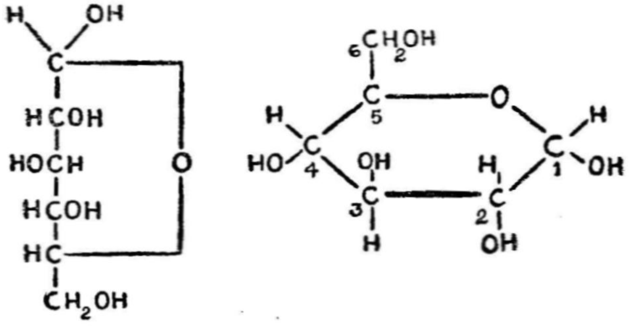
புதிய வகைப் பாட்டியலின்படி ஆல்டிஹைட் பகுதியைக் கொண்ட ஆறு கார்பன்கள் அமைப்புடைய குளுகோஸை ஆல்டோ ஆறு கார்பன் சர்க்கரை (Aldohexose) என்று அழைக்கின்றனர். ஃப்ரக்டோஸ் சர்க்கரை இரண்டாவது கார்பனில் கார்பொனைல் (Carbonyl) பகுதியைக் கொண்டிருப்பதால் அது கீடோ ஆறு கார்பன் சர்க்கரை (Ketohexose) என்று அழைக்கப்படுகிறது.



குளுகோஸ் சர்க்கரை மற்ற கார்போஹைடிரேட்டுகள் அனைத்திலும் சிறப்பானதாகும். ஏனெனில் உயிர்கள் அனைத்தும் குளுகோஸ் சர்க்கரை உருவிலுள்ள கார்போஹைடிரேட்டை உயிர் வேதியியல் மாற்றங்களில் பயன்படுத்துகின்றன. எனவே தரசம், சுக்ரோஸ், கேலக்டோஸ், (Galactose), மேன்னேஸ் விலங்குகளில் க்ளைகோஜன் (Glycogen) போன்ற கார்போஹைடிரேட்டுகள் அனைத்தும் குளுகோஸ் உருவிற்கு மாற்றப்படுகின்றன. பின்னர்தான் வளர்சிதை மாற்றங்களில் அவை ஈடுபடுத்தப் படுகின்றன. மேலும் தரசம், செல்லுலோஸ், க்ளைகொஜன் என்ற பல சர்க்கரைகளைக்கொண்ட மூலக்கூறுகள் குளுகோஸ் சர்க்கரை மூலக்கூறுகளால் கட்டப்பட்டவை. எனவே அவற்றின் சிறு அலகுகள் குளுகோஸ் மூலக்கூறுகளாகின்றன. அந்த உருவில் அவை பயன்தரும் சேமிப்புப் பொருள்களாகின்றன.

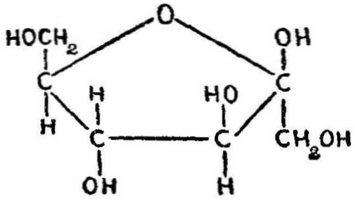
கார்போஹைடிரேட்டுகளைப்பற்றி 1884-ல் எமில் ஃபிஷர் (Emil Fischer) ஆய்ந்தறியத் தொடங்கினர்.

ஃபிஷர், ஹேவொர்த், ஹட்ஸன் முதலியவற்றின் உழைப் பினுல் குளுகோஸ் சர்க்கரை ஆறு கார்பன்கள் கொண்ட வளையம் என்று நிச்சயிக்கப்பட்டது. ஆக்ஸிஜன் அணு கார்பன் 1யும், 5யும் இணைப்பதால் வளைய அமைப்பு தோன்றுகிறது. ஃப்ரக்டோஸ்



படம் 2.3. குளுகோஸ் சர்க்கரையின் வளையங்கள்

சர்க்கரையின் வளையம் ஃப்யூரனேஸ் வளையம் எனப்படுகிறது. குளுகோஸ், பைரனேஸ் வளைய அமைப்பில் காணப்படுகிறது. இங்கு ஃப்யூரனேஸ் அமைப்பில் கார்பன் 1ம், கார்பன் 4-ம் ஆக்ஸிஜன் அணுவால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.



படம் 2.4. ஃப்யூரனோஸ் வளையம்

பல கூறு சர்க்கரைகள் (Polysaccharides)

பல கூறு சர்க்கரைகள், தரசம், செல்லுலோஸ் போன்ற பொருள்களைக் குறிக்கின்றன. இவை சேமிக்கப்படும் உருவிலும், சொல்லின் உருவத்தைக்காட்டும் அங்கங்களாகவும் இருக்கின்றன.

அரிசி, கிழங்குகள், கோதுமை போன்ற தானிய வகைகள், பருப்புகள் பொதுவாகக் குறிப்பிட வேண்டுமானால் விதைகள் அனைத்திலும் தரசம் சேமிப்புப் பொருளாகக் காணப்படுகிறது. செல் சுவர்கள் அனைத்திலும் செல்லுலோஸ் காணப்படுகிறது. இவைகளின் நீர் இணைத்தல் நிகழ்ச்சியில் ஒரே வகை தனிச் சர்க்கரைகள் தோன்றுகின்றன. தரசம், செல்லுலோஸ் க்ளைகொஜன் போன்றவை சிதைவுறும்போது குளுகோஸ் மூலக் கூறுகளாகப் பிரிகின்றன. இவைகளை குளுகன்ஸ் (Glugans) என்று குறிப்பிடுகின்றனர். ஏனெனில் இவை குளுகோஸ் பகுதிகளைக் கொண்டவை.

மேனோஸ் என்ற தனிச் சர்க்கரை அலகுகளாகப் பிரியும் பல கூறு சர்க்கரைகளை மேனன்கள் (Mannans) என்று குறிப்பிடுகின்றனர்.

ஒரே தனிச் சர்க்கரை வகையில் இல்லாமல் பலதரப்பட்ட தனிச் சர்க்கரைகளால் ஆன, பல கூறு சர்க்கரைகளில் சில பிசினிகள், ம்யூஸிலேஜ் போன்ற பொருள்கள் எனப்படுகின்றன. இவை ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட தனிச் சர்க்கரைகளையும் யூரோனிக் அமிலத்தையும் கொண்டிருக்கின்றன.

செல்லுலோஸ் (Cellulose)

தாவர செல்களின் அமைப்பில் ஒரு சிறப்பு காணப்படுகிறது. என்றால் அது அவைகளுக்கு அரணை அமைந்த செல் சுவர்களைக் குறிப்பிடலாம். இவைகள் செல்லுலோஸ் என்ற கார்போஹைட்ரேட்டினால் கட்டப்பெற்றவை. செல்லுலோஸும் தரசத்தைப்

போன்று பல கூறு சர்க்கரைகளால் ஆகியது. பருத்திப் பஞ்சில் 90 சதவீதம் செல்லுலோஸ் காணப்படுகிறது. செல்லுலோஸின் சிறு அலகுகள் குளுகோஸ் சர்க்கரைகளாகும். விலங்கோ மனிதனோ செல்லுலோஸை செரிக்கின்றன. தழைகளை உண்டு வாழும் கால்நடைப் பிராணிகளின் குடலில் காணப்படும் நுண்ணுயிர்கள் செல்லுலோஸைச் சிதைக்கும் நொதிகளினால் அதைச் சிதைக்கின்றன. சுமார் 2000 குளுகோஸ் பகுதிகளுக்கும் மேற்பட்டவை ஒரு நீண்ட செல்லுலோஸ் சங்கிலியில் காணப் படுகின்றன. எனவே செல்லுலோஸ் மூலக்கூறுகள் இழை அமைப்பையுடையவை என்பது இதனால் பெறப்படும்.

தரசம் (Starch):

தரசம், விதை, வேர், கனி போன்ற பகுதிகளில் மணிகளாகக் காணப்படுகின்றன. இது தாவரங்களில் சேமிக்கப்படும் உண வாகிறது. தாவரங்களின் தேவைக்கென (சுவாசித்தல்) எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன. அல்லது விதைகள் முளைத்தலின்போது தேவைப்படுகின்றன. விலங்கும், மனிதனும் தரசத்தினை முக்கிய உணவாகக் கொள்ளுவது எதற்காகவெனில், மேற்கண்ட கார்போ ஹைடிரேட்டினைச் சிதைத்துச் சக்தியை உற்பத்தி செய்யும் நொதிகள் மேற்கண்ட உயிரிகளில் காணப்படுவதேயாகும். செல்லு லோஸ், மரத்தில் 50 சதவீத அளவென்றால், செல்லுலோஸி லிருந்து சர்க்கரையை உற்பத்திசெய்தல் எவ்வளவு சிறந்த முயற்சி யாகும்!

தரசம் அமைலோஸ் (Amylose), அமைலோபெக்டின் (Amylo-pectin) என்ற இரு பொருள் கலவையாகும். அமைலோஸ் பகுதி யில் சுமார் 300 குளுகோஸ் பகுதிகள் காணப்படுகின்றன. இவை ஒன்றோடொன்று இணைந்து சங்கிலித் தொடராகக் காணப்படு கின்றன. அமைலோஸ் சங்கிலி, செல்லுலோஸ் சங்கிலியைப் போல் காணப்படாமல் சுருள் வடிவிலும் இருக்கலாம். சுருளின் ஒவ்வொரு சுற்றிலும் ஆறு குளுகோஸ் அலகுகள் காணப்படு கின்றன.

அமைலோபெக்டின் (Amylopectin) என்ற பகுதியில் 1300-லிருந்து 3000 வரை எண்ணிக்கையில் குளுகோஸ் மூலக் கூறுகள் சேர்ந்துள்ளன. பதினொன்று அல்லது பன்னிரண்டு குளுகோஸ் மூலக் கூறுகளைக்கொண்ட பகுதிகள் கிளைகளைப் போன்று ஒன்று சேர்ந்துள்ளன. எனவே இதனைச் சிறுசிறு கிளைகளைக்கொண்ட அமைப்பு எனலாம். தரசத்தில் அமை லோஸும் அமைலோபெக்டினும் 99 சத வீதம்தான் காணப்படு கின்றன. எஞ்சியுள்ள ஒரு சத வீதம் பிற பொருள்களால் ஆகியது.

இது தரசத்திற்குத் தரசம் வேறுபடுகிறது. இது தரசமணிகளின் உருவ அமைப்பை நிச்சயிப்பதில் பெரிதும் உதவுகின்றது. தரச மணிகளின் படிக உருவத்திற்கு அதிலுள்ள நீர் காரணமாகிறது. நீர் அகற்றப்படுமேயானுல் அதன் படிக உருவம் மறைந்து விடுகின்றது.

பல தரச வகைகளில் சிறிதளவு கொழுப்பு அமிலங்களும் உள்ளன. ஆனுல் அவை தரசத்துடன் இணைந்திருக்கின்றனவா அல்லது அவை தரசத்தின்மேல் ஒட்டிக்கொண்டிருக்கின்றனவா என்பது தெளிவாகவில்லை.

ஒரு சில தரசமணிகளில் ஃபாஸ்ஃபேட்டும் காணப்படுகிறது. உருளைக்கிழங்கின் தரசமணிகளில் ஃபாஸ்ஃபேட், தரசத்துடன் சேர்ந்திருக்கிறது.

தரசமணிகளில் காணப்படும் மேற்கண்ட கார்போஹைடிரேட்டு அல்லாத பொருள்களின் வினை என்னவென்பது தெளிவாகவில்லை.

லிபிடுகள் :

லிபிடுகள் பலதரப்பட்ட கூட்டுப்பொருள்கள் என்று கூறலாம். இவை கொழுப்பு அமிலங்களிலிருந்து தோன்றியவை. இவை நீரில் கரையா. வெவ்வேறு அளவில் பல கொழுப்பு கரைப்பான்களில் கரைகின்றன. கரைப்பான்களில் முக்கியமானவை அஸிடோன் (Acetone), சாராயம் (Alcohol), ஈதர் (Ether), பெட்ரோலியம் ஈதர், குளோரோஃபார்ம் (Chloroform), கார்பன் டெட்ராகுளோரைடு (Carbon tetra chloride).

லிபிடுகளில் எளிய அமைப்புடையவை கொழுப்பு, எண்ணெய், மெழுகு போன்றவையாகும். சிக்கலான, பல கூறு அமைப்புடையவை. ஃபாஸ்ஃபாடிடில் கூட்டுப்பொருள்கள் (Phosphatidyl compounds) அல்லது கிளிஸரோ ஃபாஸ்ஃபாடைடுகள் (Glycero phosphatides) எனப்படுகின்றன.

ஸ்டீரால்கள் (Sterols) :

தாவர ஸ்டீரால்களை ஃபைடோஸ்டீரால்கள் என்று அழைக்கின்றனர். ஸ்டீரால்கள் கொழுப்புக் கரைப்பான்களில் கரைவதில்லை. மேற்கண்ட ஃபைடோஸ்டீரால்கள், ஸைட்டோஸ்டீரால், எர்கோஸ்டீரால் என்ற ஸ்டீரால் வகைகளைக் குறிப்பிடும் பொதுப் பெயராகும். எர்கோஸ்டீரால் அல்ட்ரா வயலட் (Ultra violet). ஒளிக்கதிர்கள் பட்டவுடன் வைட்டமின் D-யாக மாறுகிறது.

ஓரளவிற்கு ஸ்டீராய்டு தன்மையைக்கொண்ட பொருள் இருதய க்ளூகோஸைடுகள் என்று கண்டு பிடித்துள்ளனர். டிஜிடாலிஸ் ("Digitalis") என்ற தாவரத்தின் இலைகளிலும், விதைகளிலும் இது காணப்படுகிறது. இவை இருதய நோய்களில் உபயோகப் படுத்தும் மருந்தாகின்றன. மேற்கண்ட க்ளூகோஸைடு அமைப்புகள், பல தனிச் சர்க்கரைகள் கொலெஸ்டிரால் போன்ற (Cholesterol like) பொருள்களோடு சேர்ந்தவையாகும்.

லிபிடுகள் எங்ஙனம் தாவர வாழ்க்கையில் இடம் பெறுகின்றன என்பதை அத்தியாயம் 15-ல் காண்க.

மேற்கண்ட கார்போஹைடிரேட், புரதம், லிபிடு போன்ற பொருள்களைத் தவிர தாவர செல்களில் பலதரப்பட்ட மூலக் கூறுகள் காணப்படுகின்றன. இவை வைட்டமின்கள், வளர்ச்சிப் பொருள்கள், அனங்கக உப்புகள், அங்கக அமிலங்கள், வளர்சிதை மாற்றங்களில் தோன்றும் பொருள்கள் என பலவகைப்படுகின்றன. தாவரங்கள் தமக்குத் தேவைப்படும் மேற்கண்ட பொருள்கள் அனைத்தையும் தாமே உற்பத்திசெய்கின்றன, எனவே பிற உயிர்களைச் சார்ந்து வாழும் நிலைமை பல தாவரங்களுக்கு ஏற்படவில்லை. சுய ஜீவிகளின் வரிசையில் தாவரங்களைத்தான் வகைப்படுத்தலாம். தமக்குத் தேவையானவற்றையெல்லாம் தம்முடைய வளர்சிதை மாற்றங்களில் உருவாக்கிக்கொள்கின்றன. எனவே உயிரினத்திலேயே உன்னத படைப்பான மனிதன், தான் வாழும்பொருட்டுத் தாவரத்தைத் துணைக்கொண்டது அதிசயமில்லையல்லவா?

3. நொதிகள்

உயிர்களின் இயக்கத்தைக் காத்துவரும் நொதிகளை, இயற்கை உருவாக்கிய கருவிகள் என்பர்.

பாக்டீரியாவும் பூஞ்சைகளும் உணவுப் பொருள்களை அணுகா விடில் அவற்றை நீண்ட நாட்கள் கெடாமல் வைத்திருக்கலாம். இந்த உயிரிகளில் காணப்படும் நொதிகள் உணவுப் பொருள்கள் கெடுவதற்குக் காரணமாகின்றன. மேற்கண்ட உணவுப் பொருள் களைச் சிதைக்கும்போது, அவை தமக்குத் தேவையான சக்தியைப் பெறுகின்றன. உணவை மனிதன் உட்கொண்டாலும் அது சிதைக்கப்படுகிறது. இது மனிதன் உடலுக்குத் தேவையான சக்தியின் உற்பத்திக்கு உதவுகின்றது.

தாவரங்கள் சுய ஜீவிகளாக இருப்பதால் அவை தமக்குத் தேவையான உணவைத் தாமே உற்பத்தி செய்துகொள்கின்றன. அங்ஙனம் உற்பத்தி செய்த உணவைச் சிதைத்துத் தமக்குத் தேவையான சக்தியை உற்பத்திசெய்கின்றன. மேற்கண்ட மாற்றங் களில் உணவுப் பொருள்கள் சிதைவதைக் கண்டோம். சோதனைக் கூடத்தில் மேற்கண்ட நிகழ்ச்சிகள் நடைபெற வேண்டுமானால் அதிக வெப்பநிலையும், அமிலங்களும் தேவைப்படுகின்றன. இந்தச் சூழ்நிலையில் உயிர்ச்செயல்கள் எதுவும் நடைபெற இயலாது. ஆனால் அத்தகைய மிகுதியான சக்தியை உபயோகித்து நிகழக் கூடிய கிரியைகள் அனைத்தையும் மிக மிதமான வெப்ப நிலையில் எளிய முறையில் ஊக்குவிக்கும் திறமையை நொதிகள் பெற்றிருக் கின்றன.

நொதிகளின் செயலைப் பல ஆண்டுகளாக அறிவுலகம் கண்டு பிடிக்கவில்லை. நொதித்தல், பால் புளித்தல் போன்ற அன்றாட நிகழ்ச்சிகளை அறிந்திருந்தபோதும் எவை இத்தகைய மாற்றங்களை விளைவிக்கின்றன என்ற விவரத்தை உணரவில்லை. 19-ஆம் நூற்றாண்டின் துவக்கத்தில்தான் இது தெளிவாகியது.

பாஸ்டர் (1822-1895) ஆல்கஹால் நொதித்தல் என்ற நிகழ்ச்சிகளை ஆய்ந்தார். அவர் ஃபெர்மெண்ட் (Ferment) என்ற பெயரை நொதிகளுக்கு உபயோகித்தார். ஆங்கிலத்தில் "என்ஸைம்" (Enzyme) என்று அழைக்கின்றனர். இதற்கு "ஈஸ்டில்" என்று பொருள். நொதிகளைப்பற்றிய விளக்கம் ஈஸ்ட்டு (Yeast) தாவரத்தின் நொதித்தலில் வெளிப்பட்டதால் மேற்கண்டபடி அவற்றை அழைக்கவேண்டும் எனக் கருதினர். "என்ஸைம்" என்ற பெயரை முதன்முதலில் வில்லி குஹ்னீ (Willy kuhne) 1878-ல் வெளியிட்டார். இவை, பல வினைகளை ஊக்குவிக்கின்றன. எவைகளின் மீது அவை செயல்படுகின்றனவோ, அத்தகைய பொருள்களைத் 'தளப்பொருள்கள்' என்று குறிப்பிடுகின்றனர். பல நொதிகளின் பெயர்களை தளப் பொருள்களின் பெயர்களோடு ஏஸ் (Ase) என்ற முடிவு எழுத்துக்களைச் சேர்த்துக் குறிப்பிடுகின்றனர். சான்றாக ஃப்யூமாரிக் அமிலத்தின் மாற்றத்திற்கு ஊக்கியாகும் நொதியை "ஃப்யூமரேஸ்" என்று கூறுகின்றனர். பல நொதிகளின் குழுக்களைச் சேர்த்துக் கூறும் பொதுப் பெயர்கள் பெரும்பாலும் அவை ஊக்குவிக்கும் வினைகளைக் குறிப்பதாகும். இதனால் "ஹைடிரஜன் நீக்கம்" என்ற வினையை ஊக்குவிக்கும் நொதிகள் அனைத்திற்கும் "டீ-ஹைடிரோஜினேஸ்கள்" (Dehydrogenases) என்ற பெயர் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

நொதிகளின் தன்மையை ஆய்ந்தறியப் போந்த மேதைகளில் லீபிக் என்பவரும், பாஸ்டரும் தலைசிறந்தவர்கள்.

நொதித்தலில் பங்குகொள்வன நுண்ணுயிர்கள் என்று பாஸ்டர் கண்டுபிடித்தார். அவை நொதிக்கச் செய்யும் வேதியல் வினையோடு, பகுப்படைந்து பெருகுவதும் நிகழ்வதைக் கண்டார். எனவே இதனை உயிர் வேதியியல் மாற்றமென்றால் லீபிக் இதனை ஏற்றுக்கொள்ளவில்லை.

1897-ல் புக்னெர் (Buckner) ஈஸ்ட்டு செல்களின் சாரம்கூட சர்க்கரையை நொதிக்கச் செய்வதைத் தற்செயலாகக் கண்டுபிடித்தார். மேற்கண்ட சாரம் செல்லின் சூழ்நிலையை விட்டு அகன்ற போதும் குளூகோஸைச் சிதைக்கிறது. புக்னெரின் இந்த முயற்சிக்குப் பிறகு பல நொதிகளைத் தாவரம், விலங்கு முதலியவற்றின் அங்கங்களிலிருந்து, சில குறிப்பிட்ட கரைப்பான்களின் உதவியால் கரைத்தெடுத்தனர். இன்றைய நொதிகளின் ஆய்வுகள் பல செல்லின் சூழ்நிலையற்ற நொதிகளின் வினைகளைக் குறிப்பிடுவதேயாகும். நொதிகளைப்பற்றிய பல கருத்துக்களும் மேற்கண்ட ஆய்வு முறையினால் தெளிவாகின்றன.

நொதிகளைப் பிரித்தெடுத்தல் :

புக்னெர், நொதிகளை ஈஸ்ட்டு செல்களிலிருந்து பிரித்தெடுப்பதற்கு அவற்றை மணலுடன் சேர்த்து அரைத்தார். இன்று செல்களைச் சிதைப்பதற்குத் திசுக்களை அரைப்பான்களில் உள்ள உலோகத்தட்டுகளிடையே வைத்து அரைக்கின்றனர்.

செல்கள் 'தாமாகச் சிதைவுறுதல்' (Antolysis) என்ற முறைப்படியும் சிதைவுறலாம். இதில் செல்லின் சவ்வுகள் தாமாகவே செரித்தல் அடைவதால் சைடோபிளாசத்தில் அடங்கியுள்ள பொருள்களைக் கரைப்பான்கள் எளிதில் கரைக்க முடிகிறது. ஆனால் இந்த முறையில் நொதிகளும் செரிக்கப்பட்டு விடலாம். ஆனால் செய்முறையில் தாமாகச்சிதைவுறுதல் என்ற முறை மிகவும் பயன்படுகிறது. சூக்ரோஸ் என்ற சர்க்கரையைச் சிதைக்கும் நொதி சூக்ரேஸ் (Sucrase) என்றழைக்கப்படும். இது ஈஸ்ட்டு செல்களில் காணப்படுகிறது. இதனைப் பிரித்தெடுப்பதற்கு முதலில் தாமாகச் சிதைவுறுதல் என்ற முறைப்படி செல்களைப் பல நாட்கள் தாமாகவே சிதையும்படி செய்கின்றனர். அறையின் வெப்ப நிலையிலேயே வைத்து, மற்ற பொருள்களின் சேர்க்கை ஏற்படாத வண்ணம் டோலீன் (Toluene) என்ற பொருளைச் சேர்க்கின்றனர். பிறகு செல்கள் அனைத்தும் திரவமாகின்றன. பிறகு சுழல் எந்திரங்களில் வைத்து சுற்றும்போது கரையாத பொருள்கள் அடியில் தங்கி விடுகின்றன. அதற்குமேல் கலங்கிய கரைசல் காணப்படுகிறது. இதில்தான் நொதிகள் காணப்படுகின்றன. பின்னர் பல முறை இதனை அஸிடோனுடன் (Acetone) சேர்த்தால் அதிலுள்ள நீர் நீங்கி விடுகிறது. இங்ஙனம் அஸிடோனில் உலர்த்தப்பட்ட நொதி தயாரிப்பு தன் வினையைப் பல மாதங்கள் பெற்றிருக்கின்றது.

நொதிகளைச் சுத்தம் செய்தல் :

நொதிகளைக் கரைத்தெடுக்கும்போது அதனுடன் பல செயலற்றப் பொருள்களும் (Inert material) சேர்ந்து கரைந்து வருகின்றன. இத்தகைய பொருள்களை நொதிகளிலிருந்து அகற்ற வேண்டும். எனவே அந்தக் கலவையில் எந்த அளவிற்கு நொதி காணப்படுகிறது என்பதை ஒரு அலகினால் குறிப்பிட வேண்டும். இது நொதியின் செறிவைக் குறிப்பிட உபயோகப்படும்.

நொதிகளின் செயல்களை ஆய்ந்தறியும்போது அவை மேற்கண்ட சுத்திகரிக்கப்படாத கலவைகளில் எந்த அளவிற்குக் காணப்படுகின்றன என்பதை, அவற்றின் செயலைப் பொருத்து அறியலாம்.

நொதிகளின் வினைகளை எங்ஙனம் கண்டறிவது?

சான்றாகக் கொழுப்புக்களைச் செரிக்கும் நொதிகள் வினைபுரிகின்றன என்பதற்கு விளக்கம், அந்தக் கிரியையில் கிடைக்கும் பொருள்களிலிருந்து பெறப்படும். இக் கிரியையில் கொழுப்பு அமிலமும் ஆல்கஹாலும் முடிவுப் பொருள்களாகின்றன. இவை அந்தக் கிரியையின் முடிவில் கிடைத்தால் அங்கு எஸ்டெரேஸ் (Esterase) என்ற நொதி கிரியாஊக்கியாக வினைபுரிந்தது என்பதை அறியலாம்.

சில கிரியைகளில் ஆக்ஸிஜன் தேவைப்படுகிறது; அல்லது கார்பன் - டை - ஆக்ஸைடு - வெளிவிடப்படுகிறது. இத்தகைய வாயுக்களை உபயோகித்தல் அல்லது வெளிவிடுதல் என்ற மாற்றங்களைக்கொண்டு அந்தக் கிரியைகளுக்குரிய நொதிகளின் செயலைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

அண்மையில் நொதிகளின் வினையைக் கண்டறிய ஒளி ஈர்த்தல் பண்பினை உபயோகித்து சோதனைகள் நிகழ்த்துகின்றனர். ஏனெனில் ஒளி ஈர்ப்பு நிகழ்ச்சி நொதிகளின் மாறுபட்ட கிரியைகளுக்கேற்ப வேறுபடுகிறது. சான்றாக 2-ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரிக் அமிலம் ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைருவிக் அமிலமாகிறது. ஈனோலேஸ் (Enolase) என்ற நொதி மேற்கண்ட கிரியைக்கு ஊக்கியாகிறது. இந்த நொதி தயாரிப்பினை 2-ஃபாஸ்போ கிளிஸரிக் அமிலத்துடன் சேர்த்தால் ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைருவிக் அமிலம் தோன்றும். ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைருவிக் அமிலம் 240 மில்லி மைக்ரான் தீவிர வயலட் ஒளிக் கதிர்களை ஈர்க்கும் தன்மையை உடையது. எனவே மேற்கண்ட கிரியையின் முடிவில் ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைருவிக் அமிலம் தோன்றியிருக்கிறது என்பதை அறிவதற்கு அந்தக் கலவையை ஒளி சோதனைக்குட்படுத்த வேண்டும். அதாவது அதில் ஒளி புகும்படிச் செய்து பின்னர் ஒளி நிறமாலையைக் கவனிக்க வேண்டும். அந்த ஒளி நிறமாலையில் 240 மில்லி மைக்ரான் பகுதியில் ஈர்ப்புப் பட்டை காணப்படுமேயானால் அது நொதியின் கிரியை நிகழ்ந்தது என்பதைக் குறிக்கும் குறியீடாகும். ஒளி ஈர்ப்புப்பட்டை தோன்றும் வேகத்தைப் பொறுத்து நொதியின் செறிவு உள்ளது.

செயலற்ற பகுதியிலிருந்து நொதிகளைப் பல முறை கரைத்து அவற்றை வீழ்படிவாகச் செய்ய வேண்டும். இதனால் நொதிகள் செயலற்ற பொருள்களிலிருந்து பிரித்தெடுக்கப்படுகின்றன.

யூரியேஸ் (Urease) என்ற நொதியை ஸம்னர் (Sumner) 1926-ல் படிகமாக்கினார். பலமுறைக் கரைத்துப் படிகமாக்கி,

அவற்றின் தூய்மையை அதிகப்படுத்தினர். இது பீன்ஸீ விதைகளின் கூழிலிருந்து எடுக்கப்பட்டது. அதில் பல அசுத்தங்கள் காணப்படுகின்றன. ஆனால் மேற்கண்ட முறையில் பலமுறை படிகமாக்கப்பட்ட யூரியேஸ், அசுத்தங்கள் அடங்கிய கூழை விட ஸிரியாவைச் சிதைப்பதில் 700-லிருந்து 1400 மடங்கு அதிக வேகத்தைப் பெற்றிருக்கிறது.

இங்ஙனம் பலமுறை சுத்தீகரித்து நொதியின் உயிர் செயல் மூலம், அதனுடைய செறிவை அளவிடுதலுக்கு பயோஅஸ்ஸே (Biossay) என்பர்.

இருகூறு பிரித்தல் (Dialysis)

ஈஸ்ட்டு செல்லின் சாரத்தை இருகூறு பிரித்தல் முறைக்குட் படுத்தினால் அது தன் நொதிக்க வைக்கும் தன்மையை இழந்து விடுகிறது.

இருகூறு பிரித்தலில் சாரத்திலிருந்த ஒரு முக்கிய பகுதி அகன்றுவிட்டது. எனவே சாரத்தில் எஞ்சியிருந்த பகுதி நொதித்தலில் ஈடுபட இயலாமல் போய்விட்டது. அதைப் போலவே சாரத்திலிருந்து அகன்ற பகுதியும் நொதித்தலில் ஈடுபடமுடியாது. ஏனெனில் இவ்விரண்டு கூறுகளும் நொதித்தல் கிரியையில் ஈடுபடுகின்றன. ஆனால் அந்தச் செயலுக்கு இவ் விரண்டும் ஒன்ருகப் பொருந்தியிருக்க வேண்டும்.

இருகூறு பிரித்தலின்போது நடைபெறுவது என்னவெனில் நொதி என்ற புரதப் பகுதியும், இணை நொதி என்ற புரதமற்ற பகுதியும், பிரிக்கப்படுகின்றன. அங்ஙனம் பிரிக்கும் பொருள், ஒரு கூறு புகவிடும் சவ்வு எனப்படுகிறது. புரதமற்றப் பகுதியின் அளவு மிகச் சிறியதாக இருப்பதால் அது சவ்வின் வழியாக வெளியேறுகிறது

நொதிகளின் இயல்பைப் பின்வருமாறு வால்ட்ஷ்மிட்-லீட்ஜ் (Waldschmidt-Leitz) என்பவர் குறிப்பிடுகின்றார். நொதிகள் வினை ஊக்கிகளாகின்றன; அங்கக இயல்பை உடையவை; உயிருள்ள செல்களால் கட்டப்படுவன; எனினும் உயிருள்ள சூழ்நிலை அவைகளின் செயலுக்குத் தேவை என்பதில்லை.

அண்மையில் நொதிகளைப் புரதங்கள் என்றும், அவற்றின் குறிப்பிட்டக் கிரியைகளை ஊக்குவிக்கும் சக்தியால், வினை ஊக்கிகள் என்றும் குறிப்பிடுகின்றனர்.

நொதிக்கிரியை மீள்திரும்பல்

ஊக்கிகள் பெரும்பாலும் ஒரு மாற்றத்தை முன்னேக்கிச் செல்லவோ அல்லது மீள்திரும்பச் செய்யவோ செயல்படும் திறமையை உடையவை. ஆனல் பொதுவாக, உயிர் கிரியைகள் சமநிலைக்கு வரும்போது அந்தக் கிரியையின் மார்க்கம் ஒரு திக்கை நோக்கித்தான் ஏற்படுகிறது. ஏனெனில் ஒரு கிரியையில் தோன்றும் முடிவுப் பொருள் அதற்கு அடுத்தப்படி நிகழும் கிரியையின் தளப் பொருளாகிறது. எனவே முடிவுப் பொருள்கள் நொதியின் சூழ்நிலையிலிருந்து உடனுக்குடன் அகற்றப்படுகின்றன. இதனல் கிரியைகள், மீள்திரும்பல் முறைக்கு உள்ளாவதில்லை.

சான்ருக 3-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் ஃபாஸ்போ கிளிஸரோ ம்யூடேஸ் (Phospho glycero mutase) என்ற நொதியால் 2-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலமாகிறது. இந்தக் கிரியை மீள் திரும்பலில் மறுபடியும் 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலத்தையே தோற்றுவிக்கலாம். ஆனல் உடனேயே 2 ஃபாஸ்போ கிளிஸரிக் அமிலம் ஈனொலேஸ் (Enolase) என்ற நொதியால் ஃபாஸ்ஃபோ ஈனல் பைருவிக் அமிலமாக மாற்றப்பட்டுவிடுகிறது. இந்தக் கிரியையும் மீள்திரும்பலுக்குட்படுத்தக் கூடியதாகும். ஆனல் மீள் திரும்பல் நிகழ்வதில்லை. ஏனெனில் ஃபாஸ்ஃபோ ஈனல் பைருவிக் அமிலம் தோன்றும் கிரியையின் தளப் பொருளாகிறது மேற் கண்ட கிரியைகளைக் கீழ்வரும் படத்தில் காண்க.

3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்

ம்யூடேஸ் ↓ ↑

2 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்

ஈனொலேஸ் ↓ ↑

ஃபாஸ்ஃபோ ஈனல் பைருவிக் அமிலம்

கைனேஸ் ↓ ↑ ADP → ATP

பைருவிக் அமிலம்

இவை க்ளைகாலிஸஸ் என்ற நிகழ்ச்சியில் வரும் கிரியைகள் என அறிவோம்.

நொதி வினைகளின் குறிப்புச் சார்பு

அனங்கக ஊக்கிகள் பலதரப்பட்டக் கிரியைகளை ஊக்குவிக் கின்றன. சான்ருக ப்ளேடினம் என்ற உலோகம் (Platinum) இந்த வரிசையில் வைக்கப்படுகின்றது. ஆனல் அங்கக நொதிகள் குறிப்பிட்ட வினைகளுக்குத்தான் ஊக்கிகளாகின்றன.

எனவே ஒவ்வொரு நொதியின் வினைக்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட தளப் பொருள் தேவைப்படுகின்றது. எனவே குறிப்பிட்ட வினைகள்தான் நிகழ முடிகின்றது. இதனால்தான் எந்தெந்தக் கிரியைகள் நிகழவேண்டும் என்பதை நொதிகள் நிச்சயிக்கின்றன.

ஃபாஸ்போகைனேஸ்கள் என்ற நொதிகள் (Phosphokinases) ATP-யிலிருந்து. ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதியைப் பிரித்தெடுத்து மற்ற ஏற்பான்களுக்கு அளிக்கும் வினையைப் புரிகின்றன. இந்த ஏற்பான்கள் ATPஐப் போன்ற உயர் சக்தி வாய்ந்த ஃபாஸ் ஃபேட்டுகளாகவோ அல்லது பலதரப்பட்ட சர்க்கரை, ஏனைய அங்ககப் பொருள்கள் உருவிலோ இருக்கலாம். எனவே ஹெக்ஸோகைனேஸ்கள் (Hexokinases) என்று அழைக்கப் படுபவை பல, சர்க்கரை (ஹெக்ஸோஸ்) மூலக்கூறுகளின் ஃபாஸ் பரீகரண நிகழ்ச்சியில் பங்கு கொள்ளலாம். மேற்கண்ட ஹெக்ஸோகைனேஸ்களிலும் குறிப்பிட்டுக் கூறத்தக்கவை குளுகோஸின் ஃபாஸ்பரீகரண நிகழ்ச்சியில் மட்டும் ஊக்கியாக லாம். ஆனால் ஹெக்ஸோஸ் சர்க்கரைகளில் ஒன்றான கேலக் டோஸ் (Galactose) சர்க்கரையின் ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சியில் ஊக்கியாவது கேலக்டோகைனேஸ் (Galactokinase). இது கேலக் டோஸ் அல்லது கேலக்டோஸ்அமைன் (Galactosamine) என்ற தளப் பொருள்களின் ஃபாஸ்பரீகரண நிகழ்ச்சியில்தான் ஊக்கி யாகின்றது. ஆனால் ஹெக்ஸோ கைனேஸ் குளுகோஸ், ஃப்ரக் டோஸ் போன்ற பொருள்களின் ஃபாஸ்பரீகரண நிகழ்ச்சிகளிலும் பங்கு கொள்கின்றது. ஃபாஸ்போகைனேஸ்கள் அனைத்தும் ATP மூலக்கூறிலிருந்து ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதியை வேறு பொருள் களுக்கு மாற்றுகின்றன.

ஃபாஸ்ஃபடேஸ்கள் (Phosphatases) என்ற நொதிகளின் வினை மேற்கண்ட கைனேஸ்களைவிட விரிவானது. ஏனெனில் பல ஃபாஸ்ஃபேட் கூட்டுப் பொருள்களிலுள்ள ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதியை நீர் இணைத்தலில் அகற்றும் வினையை இவை புரிகின்றன. சான்றாக ஃப்ரக்டோஸ் 1, 6-டைஃபாஸ்ஃபேட்டு (Fructose 1, 6-Diphosphate) ஃபாஸ்ஃபடேஸ் என்ற நொதியால், ஒரு ஃபாஸ் ஃபேட் பகுதியை இழந்து ஃப்ரக்டோஸ் 6-ஃபாஸ்பேட்டாக மாறுகிறது. ஸீடோ ஹெப்டுலோஸ் 1, 7-டைஃபாஸ்ஃபேட்டு (Sedoheptulose 1, 7-Diphosphate) என்ற தளப் பொருளும் மேற் கண்ட நொதியாலேயே நீர் இணைத்தல் மூலம் ஸீடோஹெப்டு லோஸ்-7-ஃபாஸ்பேட்டாக மாறுகிறது.

லிபேஸ்கள் (Lipases) ஃபாஸ்ஃபடேஸ்களைவிட அதிகமான தளப் பொருள்களின்மேல் வினை புரிகின்றன. ஏனெனில் பலதரப்

பட்ட ஆல்கஹால்-அமில இணைப்புகளைத் துண்டிக்கின்றன. இந்த இணைப்புகளை எஸ்டர் (Ester) இணைப்புகள் என்றழைப்பர். இங்கு நீர் இணைத்தல் ஏற்படுவதினால் மேற்கண்ட இணைப்புகள் துண்டிக்கப்படுகின்றன. இத்தகைய இணைப்பைக் கொண்ட பொருள்கள் மீதைல் அஸிடேட் (Methyl acetate) என்ற மிகச் சிறிய பொருள்களாகவோ அல்லது ப்யூடைரேட் (Butyrate) என்ற மிகப் பெரியதளப் பொருளாகவோ இருக்கலாம்.

மேற்கண்ட நொதிகளிலிருந்து குறிப்புச் சார்புந் தன்மையில் வேறுபடுவது யூரியேஸ் (Urease) என்ற நொதியாகும். ஏனெனில் இது யூரியாவை மட்டும் அம்மோனியாவாகவும், கார்பன்டை-ஆக்ஸைடாகவும் சிதைக்கிறது.

நொதிகளை அடக்குவன : (Enzyme Inhibitors)

நொதிகள் வெகு விரைவில், தம் ஊக்குவினைகளை ஆற்ற முடியாமல் விலக்கப்படுகின்றன. இங்ஙனம் நொதிக் கிரியையைத் தடை செய்யும் பொருள்கள் பல சூழ்நிலை அம்சங்களும் இதில் பங்கு கொள்கின்றன. சிறந்த பட்ச நிலையிலுள்ள வெப்பம் ஒரு சிறிது உயர்ந்ததாலும் நொதிகள் தம் செயலிழக்கின்றன. பல வேதியியல் பொருள்களும் இத்தகைய தன்மையை உடையனவாயிருக்கின்றன. இவைகளில் சில புரதத்தை வீழ்படிவாக்குகின்றன. குளோரோ அஸிடிக் அமிலம் (Chloroacetic) ஃபாஸ்ஃபோடங்ஸ்டிக் அமிலம் (Phosphotungstic acid) போன்ற பல பொருள்கள் மேற்கண்ட தன்மையை உடையனவாயிருக்கின்றன. சுவாசித்தலில் பங்கு கொள்ளும் பல நொதிகள் மிகக் குறைவான அளவில் ஸயனைடு (Cyanide) பொருள்களால் செயலிழக்கின்றன. இதற்குக் காரணம் என்னவெனில், சுவாசித்தலில் பங்கு கொள்ளும் நொதிகளுக்கு இணைநொதிகளாக வினைபுரியும். ஸைடோ குரோம்களிலுள்ள இரும்புடன் ஸயனைடு கூட்டுச் சேர்வதேயாகும். இதனால் நொதிக்கிரியை விலக்கப்படுகின்றது. சுவாசித்தலின் ஈற்றுப் பகுதி எனப்படும் எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடர் கிரியைகளில் மேற்கண்ட ஸைடோகுரோம் இணைநொதிகள் முக்கிய அங்கம் வகிக்கின்றன.

நொதிக் கிரியைகளை விலக்கும் பொருள்களினால் உயிரினத்திற்கு தீங்கே விளைவிக்கப்படுகின்றது. ஆனால் அவற்றையும் ஒரு சோதனைக் கருவியாக உபயோகிப்பது சாத்தியமாகிறது. சான்றாக சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் சிட்ரிக் அமிலம் அடையும் மாற்றங்களைக் கவனிப்போம். இது முடிவில் ஆக்ஸலோ அஸிடேட் என்னும் பொருளைத் தோற்றுவிக்கின்றது. ஆனால் அது, இடையே பல

மாற்றங்களை அடைந்த பின்னர்தான் ஆக்ஸலோ அஸிடேட் தோன்றுகிறது. இத்தகைய இடையே நிகழும் மாற்றங்களை அறிவதற்கு மேற்கண்ட விலக்கிகள் உதவுகின்றன. ஐஸோசிட்ரிக் அமிலம் ஆக்ஸீகரணத்தைத் தடைசெய்யும் விலக்கி ஒன்றை உபயோகித்தால் ஐஸோசிட்ரிக் அமிலம் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படாமல் சேகரம் அடைகிறது. இதனைப் பிரித்தெடுத்து அறிதல் எளிதாகிறது. இதனால் சிட்ரிக் அமிலம் ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டைத் தோற்றுவிப்பதற்கு முன்னர் ஐஸோஸிட்ரிக் அமிலத்தை உண்டு பண்ணுவதை அறியலாம். இங்ஙனம் உயிர் வேதியியல் மாற்றங்களின் படிகளையெல்லாம் கண்டுபிடிப்பதற்கு நொதிகளை விலக்கிகள் பெரிதும் உதவின.

போட்டியிடும் விலக்கிகள் (Competitive inhibitors)

மேலொனேட் என்ற பொருள் ஸக்ஸினேட் டீஹைடிரோஜினேஸ் என்ற நொதியின் கிரியையைத் தடை செய்கின்றது. ஸக்ஸினேட் டீஹைடிரோஜினேஸ் ஸக்ஸினேட்டை ஆக்ஸீகரணிக்கச் செய்து ஃப்யூமரேட் (Fumarate) என்ற பொருளாக மாற்றும் கிரியைக்கு ஊக்கியாகின்றது. மேலொனேட்டும் உருவ அமைப்பில் பெரிதும் ஒத்திருப்பதே இதற்குக் காரணமாகும். ஸக்ஸினேட்டின் செறிவு குறைவாக இருக்கும்போது மேலொனேட் நொதியுடன்கூடி ஒரு கலவையை உண்டுபண்ணுகிறது. இதனால் நொதி ஸக்ஸினேட் கூட்டு ஏற்பட முடியாமல் போய்விடுகிறது. சுருங்கச் சொல்லின் ஸக்ஸினேட்டின் ஆக்ஸீகரணக் கிரியை விலக்கப்படுகின்றது.

நொதியின் கிரியைக்கு அது தளப் பொருளோடு கூட்டு சேர வேண்டும் என்பதும் இதனால் பெறப்படும். ஸக்ஸினேட்டின் செரிவு அதிகமாக இருக்குமேயானால் மேலொனேட் அதனுடன் போட்டியிட்டு நொதியை அடைய முடியாது. ஸக்ஸினேட்டின் செரிவு குறைந்து காணப்படும் போதுதான் மேலொனேட் மேற்கண்டபடி, ஸக்ஸினேட்டுடன் போட்டியிட்டு நொதியின் கிரியா தளத்தை (Reactive site) அடைந்து பிணைத்துவிடுகிறது.

நொதிக் கிரியையின் இயக்கம் :

பூட்டு-சாவியின் பொருத்தத்தைப்போன்று, நொதியும் தளப் பொருளும் அமைந்திருந்தால்தான், குறிப்பிட்ட மாற்றங்கள் நிகழ முடியும் என்று எமில் ஃபிஷர் (Emil-Fischer) குறிப்பிட்டார். இதனால் நொதியின் கிரியாதளம், தளப்பொருளின் அமைப்பிற்கேற்றவாறு இருக்கவேண்டும் என்பதை இன்று அறிவோம். நொதிகளின் குறிப்பிட்ட தன்மையால், குறிப்பிட்ட தளப்பொருள்

கள்தான் அவற்ருேடு தொடர்புகொள்ள முடியும். இது கிரியா தளத்திற்கும் தளப்பொருளுக்கும் இடையேயுள்ள தொடர்பைச் சார்ந்துள்ளது. இத்தகைய தன்மையால் குறிப்பிட்ட தளப் பொருள்கள்மீதே நொதிகள் விஜனபுரிகின்றன.

சில நொதிகளின் கிரியைகளுக்குப் புரதச் சங்கிலி முழுவதும் தேவைப்படுகிறது. ஆனல் மற்றும் பல நொதிகளின் கிரியை களுக்குப் புரதச் சங்கிலியின் ஒரு பகுதியிருந்தால்கூட போதுமான தாகிறது.

முதல் வகையில் வரும் புரதங்கள், 3 அல்லது 4 அமினே அமிலக் கூறுகள் அகற்றப்பட்டால்கூட தம் செயலை இழந்து விடு கின்றன. இரண்டாம் வகையில் வரும் புரதங்களில் ஒன்று பப்பாளி மரத்திலிருந்து எடுக்கப்படும் பப்பேய்ன் (Papain) என்ற நொதி. அதன் 180 அமினே அமிலக் கூறுகளில், 120 அமினே அமிலக் கூறுகள் அகற்றப்பட்டால்கூட அது தன் செயலை இழப்பதில்லை. பல புரதங்கள் தம் இயல்பை இழக்கும் நிகழ்ச்சியில் அவற்றின் இரண்டாம், மூன்ரும் உருவத்தோற்றங்கள் சிதைவதே அவை தம் செயலை இழப்பதற்குக் காரணமாகின்றது. மேற் குறிப்பிட்ட உருவ அமைப்பில், கிரியாதளம் (Active site) பல குறிப்பிட்ட புரதச் சங்கிலிகளின் தொகுப்பை ஒன்ருகக் கொண்டிருக்கும். இது புரதச் சங்கிலிகள் பலமுறை மடிவதினுல் ஏற்படுகிறது. இந்த மடிப்புகள், ஹைடிரஜன், ஸல்பர் போன்ற அணுக்களின் இணைப்புப் பட்டை களினுல் ஏற்படுகிறது. இத்தகைய ஹைடிரஜன் இணைப்புகளைத் தகர்த்தால், புரதத்தின் ஒழுங்கமைப்பு சிதைந்து விடுகின்றது. ஒன்ருக இருந்த முக்கியப் பகுதிகள் விலகி விடுகின்றன.

அண்மையில் நிகழ்த்திய ஆய்வுகளின்மூலம், பல நொதி களில் சுயேச்சையாகக் காணப்படும் ஸல்ஃபைட்ரைல் பகுதிகள் (SH-groups) தளப்பொருள்களை ஏற்கும் கிரியா தளங்களாக விஜன புரிகின்றன என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். ஆக்ஸீகரணம், காரங் களின் செயல், போன்ற நிகழ்ச்சிகளில் மேற்கண்ட பகுதிகள் அழிந்துவிடுகின்றன, எனவே நொதிகள் தம் செயலை இழக் கின்றன. இத்தகைய நொதிகளின் பட்டியல் மிக நீண்டது. ஒரு சில நொதிகள் தாம் கொண்டுள்ள ஹிஸ்டிடீன், ட்ரிப்டோஃபேன் அமினே அமிலக்கூறுகள் சிதைவதினுல் செயலிழக்கின்றன.

நொதிகளின் கிரியை :

நொதிகளின் கிரியைகளில் சில இணைநொதிகளின் துணை யுடன் நிகழ்கின்றன. சான்ருக ஆல்கஹால் டீஹைடிரோஜினேஸ்

(Alcohol dehydrogenase) என்ற நொதி ஈதைல் ஆல்கஹால் என்ற சாராயத்தை ஆக்ஸீகரணிக்கிறது. இந்த நொதியின் இணை நொதியாக NAD அல்லது நிகோடினமைட் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் வினைபுரிகிறது. நொதி என்னும் புரதப் பகுதியுடன் இணைநொதி ஸல்ஃபர் இணைப்புகளின் வழியாக இணைந்துள்ளது. மேலும் இது ஸிங்க் (Zinc) என்ற துத்தநாகத்தையும் உபயோகிக்கிறது. இந்த உலோகம் இணைநொதியின் அடினைன் பகுதியுடனும், நொதியின் ஸல்ஃபைட்ரைல் பகுதியுடனும், தளப் பொருளின் ஹைடிராக்சில் (OH) பகுதியுடனும் இணைந்திருக்கிறது. தளப் பொருள், நொதிப் பகுதியுடன், அதன் கிரியா தளத்தில் இணைந்திருக்கிறது. தளப்பொருளிலிருந்து ஹைடிரஜன் நீக்கப்பட்டு இணைநொதியின் நிகோடினமைட் பகுதிக்கு மாற்றப்படுகிறது. இதனால் இணைநொதி குறைத்தல் அடைகிறது. ஆல்கஹால் மூலக்கூறு இந்த ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியால் ஆல்டிஹைடாக மாற்றமடைகிறது. குறைக்கப்பட்ட இணைநொதி, தான் ஏற்றுக்கொண்ட ஹைடிரஜனை மற்றொரு ஏற்பானுக்கு அளிக்கிறது. கிரியை முடிந்தவுடன் முடிவுப்பொருள் அகன்றுவிடும்.

மேற்கண்ட முறையில் ஒரு நொதி வினைபுரிவதை விவரித்துள்ளனர்.

நொதியின் கிரியையைக் கண்டறிய அதனைப் பிரித்தெடுக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. இங்ஙனம் பிரித்தெடுக்கும்போது அவற்றை ஸைடோபிளாசத்திலிருந்து மட்டும் அகற்றினால் போதாது. ஏனைய நொதிக் குழுவிலிருந்தும் இவற்றைப் பிரிக்க வேண்டும். இங்ஙனம் பிரிக்கப்பட்ட நொதிகளின் கிரியைகளும், ஸைடோபிளாசத்தையும், செல்லின் சூழ்நிலையையும் விட்டகலாத நொதிகளின் கிரியைகளும் ஒத்திருக்க முடியுமா என்ற ஐயம் எழலாம். சுவாசித்தலில் நிகழும் கார்போஹைடிரேட்டுகளுடைய சிதைமாற்றங்களில் சிட்ரிக் அமில சுழல்மாற்றங்கள் இறுதியாக நிகழ்வனவாகின்றன. இந்த மாற்றங்கள் மைட்டோகோன்ட்ரியாவில் நிகழ்கின்றன. தனித்தனியாகப் பிரித்தெடுத்த நொதிகளின் கிரியைகளும் மேற்கண்ட மைட்டோகோன்ட்ரியாவின் முழு அமைப்பிலுள்ள நொதிகளின் மாற்றங்களும் ஒத்திருக்கின்றன என்பதைக் கண்டு பிடித்துள்ளனர்.

மேற்கண்ட நொதிக்கிரியை ஒன்றில் ஹைடிரஜன் ஆல்கஹாலிலிருந்து அகற்றப்படுவதாகக் குறிப்பிடப்பட்டது. குறைத்தல் அடைந்த இணைநொதி எங்ஙனம் அந்த எலெக்ட்ரான்களைக் கடத்துகின்றன என்ற வினா எழலாம்.

நொதிகளைப் பிரித்தெடுக்கும் சோதனைகளில் ஒரு நொதிப் புரதத்துடன் இரு இணைநொதிகள் இருப்பதைக் கண்டுபிடித்தனர். இதனால் ஒரு இணைநொதி மற்றொன்றுடன் எளிதில் தொடர்பு கொள்ள முடிகிறது. மேலும் எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரில் வினைபுரியும் நொதிகள் ஒன்றுடன் ஒன்று தொடர்புகொள்ளும் வகையில் நெருங்கிக் காணப்பட்டால்தான் எலெக்ட்ரான் மாற்றம் எளிதில் நடைபெற முடியும்.

மைட்டோகோன்ட்ரியாவின் புரத லிபிடு உறைகளில் நொதிகளின் குழுக்கள் நெருக்கமாக அமைந்திருப்பதை அண்மையில் தெளிவாக்கியுள்ளனர். நொதிகளைப் பிரித்தெடுத்து அவற்றின் கிரியைகளை ஆய்ந்தறிவது வேதியியல் ஆராய்ச்சியின் சிறப்பான அம்சமாகிறது. நொதிகளின் கிரியைகளை ஆய்ந்தறியும் முயற்சியில் இன்று மும்முரமாக முனைந்திருக்கின்றனர். ஏனெனில் நொதிகளின் வினைகள்தான் உயிர்களின் இயக்கத்திற்கு அடிகோலுகின்றன. நொதிகளின் இயக்கமில்லையேல் உயிர்கள் வாழ்ந்திருக்க முடியாது. மேலும் உயிர்களைப் பாதிக்கும் நுண்ணுயிரிகளின் இயக்கத்தைத் தடை செய்வதற்கும் அவற்றில் நிகழும் நொதிகளின் கிரியைகளை அறிய வேண்டும். இங்ஙனம் அறிந்த பின்னர் அந்த நொதிகளை விலக்குவதின்மூலம் அவற்றின் உயிரியக்கத்தைத் தடைசெய்யலாம். இதனால் பாதிக்கும் நுண்ணுயிர்கள் இறந்து விடுகின்றன. எனவே ஓர் உயிரின் இயக்கத்திற்கும், அந்த உயிரின் பாதுகாப்பிற்கும் நொதிகளைப்பற்றிய அறிவு தேவைப்படுகிறது.

உயிரியங்கும் உடலின் சூழ்நிலையில் தோற்றுவிக்கப்படும் நொதிகள் ஜீன்களால் கட்டுப்படுத்தப்படுகின்றன. ஜீன்கள்தான் அவற்றின் அமைப்பை நிச்சயிக்கின்றன. இந்த ஜீன்களின் இயல்பை ஆய்வதில் அறிவுலகம் ஈடுபட்டு இருப்பதில் வியப்பில்லையல்லவா!

ஒரு உயிரின் வளர்சிதை மாற்றங்கள் போன்றவை யனைத்தும் நொதிகளின் கிரியையால் நிகழ்கின்றன. சோதனைக் கூடத்தில் சாதாரணமாக இந்தக் கிரியைகளை நிகழ்த்தமுடியாது. கிரியைகள் நடப்பதற்கு மாற்றம் அடையவேண்டிய பொருள்களைக் கிளர்த்த வேண்டும். கிளர்த்தலுக்குப் பெருமளவில் சக்தி தேவைப்படுகிறது. ஆனால் நொதிகள் இத்தகைய மாற்றங்களை எங்ஙனம் நடத்துகின்றன? நொதிகள் கிளர்த்தலுக்குத் தேவையான சக்தியின் மட்டத்தைக் குறைக்கின்றன. இந்த நொதிகளின் வினைகள் எண்ணிறந்தன. உயிரியக்கத்திற்கு ஊன்றுகோலான

வளர்சிதை மாற்றங்களில் நொதிகளின் பங்கு என்ன என்பதைக் காண்போம்.

சுவாசித்தலில் நிகழும் சிதைமாற்றங்களில் உணவுப் பொருள்கள் சிதைக்கப்பட்டு சக்தி வெளிப்படுகின்றது. இத்தகைய சிதை மாற்றங்களை ஆக்ஸிகரண நிகழ்ச்சிகள் என்றும் குறிப்பிடலாம். இதனால் உணவுப் பொருள்கள் ஆக்சிஜனால் எரிக்கப்படுகின்றன என்பது பெறப்படும். உணவுப் பொருள்கள், கார்போஹைடிரேட்டுகள், கொழுப்பு வகையைச்சேர்ந்த லிபிடுகள், சேமிப்புப் புரதங்கள் எனப் பலவகைப்படுகின்றன.

கார்போஹைடிரேட்டுகளில் மிக எளிய அமைப்பையுடைய தனிச் சர்க்கரைகளும், தரசம் போன்ற பல கூறு சர்க்கரைகளும் தாவரங்களில் உற்பத்தியாகின்றன. இவை சிதைவுறுகையில் பல மாற்றங்களை அடைந்து முடிவில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாகவும் நீராகவும் மாறுகின்றன. கொழுப்பு, புரதம் போன்றவையும் தம் சிக்கலான அமைப்புகள் சிதைந்து முடிவில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடையும் நீரையும் தான் தோற்றுவிக்கின்றன.

மேற்கண்ட சிதை மாற்றங்களில் ஊக்கிகளாகும் நொதிகள் பல. அவற்றின் நீண்ட பட்டியலைக் கவனிப்போம்.

க்ளைகாலிஸஸ்

தளப்பொருள்	முடிவுப் பொருள்	நொதி	இணை நொதியும் மற்ற இணை அம்சங்களும்
1. தரசம்	குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்பேட்	ஃபாஸ்பாரிலேஸ்	Mg^{++}
2. குளுகோஸ் +ATP	குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ்பேட் + ADP	ஹெக்ஸோ கைனேஸ்	Mg^{++}
3. ஃப்ரக்டோஸ் +ATP	ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்பேட் + ADP	ஹெக்ஸோ கைனேஸ்	—
4. கேலக்டோஸ் +ATP	கேலக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்பேட்+ADP	கேலக்டோ கைனேஸ்	—
5. குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்பேட்	குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ்பேட்	ஃபாஸ்ஃபோ குளுகோம்யூடேஸ்	G 16 DP Co factor

தளப்பொருள்	முடிவுப்பொருள்	நொதி	இணைநொதி
6. குளூகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்	ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட	ஃபாஸ்ஃபோ ஃப்ரக்டோஸ் ஐஸோமிரேஸ்	—
7. ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட் + ATP	ஃப்ரக்டோஸ் 1, 6-டைஃபாஸ்ஃபேட் + ADP	ஹெக்ஸோ கைனேஸ்	Mg^{++}
8. ஃப்ரக்டோஸ் 1, 6-டைஃபாஸ்ஃபேட்	3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்டிஹைட் + டைஹைடிராக்ஸி	ஆல்டொலேஸ்	—
	அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டு		—
9. ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்டிஹைட்	1, 3-டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்	ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்டிஹைட் டீஹைட்ரோஜினேஸ்	NAD நிகோடினமைட் அடினைன்டை நியூக்ளியோடைட்
10. 1, 3-டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்	3-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் + ATP	ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட் கைனேஸ்	—
11. 3-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்	2-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்	ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட் ம்யூடேஸ்	2, 3, DPGA
12. 2 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்	ஃபாஸ்ஃபோ ஈனல் பைருவிக் அமிலம்	ஈனொலேஸ்	Mg^{++}
13. ஃபாஸ்ஃபோ ஈனல் பைருவிக் அமிலம்	பைருவிக் அமிலம் + ATP	பைருவேட் கைனேஸ்	K^{+}
14. பைருவிக் அமிலம்	அஸிடைல் கோஏ + Co_2 + $NADH_2$	பைருவேட் டீஹைடிரோஜினேஸ்	TPP. Mg^{++} லிபாயிக் அமிலம், NAD, கோஎன்ஜைம் ஏ

சிட்ரிக் அமில சுழற்சி

தளப்பொருள்	முடிவுப்பொருள்	நொதி	இணைநொதி
15. அஸிடைல் கோஏ + ஆக்ஸலோ அஸிடேட்	சிட்ரிக் அமிலம்	சிட்ரோஜினேஸ்	
16. சிட்ரிக் அமிலம்	ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலம்	அகோனிடேஸ்	
17. ஐஸோசிட்ரிக் அமிலம்	ஆல்ஃபாகீடோ குளூடாரிக் அமிலம்	ஐஸோசிட்ரிக் டீஹைடிரோ ஜினேஸ்	NADP (நிகோடினமைட் அபினைன்டை நியூக்ளியோடைட் ஃபாஸ்பேட்
18. ஆல்ஃபா கீடோ குளூடாரிக் அமிலம்	ஸக்ஸினிக் அமிலம் + CO_2 + $NADH_2$ +	ஆல்ஃபாகீடோ குளூடாரிக் டீஹைடிரோ ஜினேஸ்	TPP, லிபாயிக் அமிலம் NAD, கோஎன்ஜைம் ஏ
19. ஸக்ஸினிக் அமிலம்	ஃப்யூமரேட்	ஸக்ஸினிக் டீஹைடிரோ ஜினேஸ்	—
20. மேலிக் அமிலம்	ஆக்ஸலோ அஸிடேட்	மேலிக் டீஹைடிரோஜினேஸ்	NAD

புரதங்கள் சிதைக்கப்படுதல்

புரதங்கள் அமினோ அமில மூலக் கூறுகளால் ஆனவை. பெப்டிடேஸ்கள் (Peptidases) போன்ற நொதிகள், இவைகளைத் தனித்தனி அமினோ அமில மூலக் கூறுகளாகச் சிதைக்கின்றன. பின்னர் அமினோ அமிலக் கூறுகளிலுள்ள அம்மோனியா நீக்கப் பட்டவுடன் எஞ்சியிருப்பது கார்பாக்ஸில் அமிலங்கள். கார்பாக்ஸில் அமிலங்கள் என்றவுடனே கார்போஹைடிரேட்டின் சிதை மாற்றங் களை நினைவு கூறவேண்டும். ஏனெனில் அத்தகைய கார்பாக்ஸில் அமிலங்களின் அமளீகரத்தினால் பல அமினோ அமிலங்கள்

தோன்றுகின்றன. இத்தகைய கார்பாக்ஸில் அமிலங்களில் பைருவிக் அமிலம், ஆல்ஃபா கீடோ குளூடாரிக் அமிலம், ஃப்யூமாரிக் அமிலம் போன்றவை சில. கார்பாக்ஸில் அமிலங்கள் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுகின்றன என்பதையும் அறிவோம்.

அமினோ அமிலங்களின் அம்மோனியா நீக்கம் எங்ஙனம் ஏற்படுகின்றது என ஆய்ந்ததில் தாவரம், விலங்கு என்ற இரு உயிரினத்திலும் ஆக்ஸீகரண அம்மோனியா நீக்கமே அடிப்படையாகிறது. பெரும்பாலும் ஆக்ஸீகரணிகளை (அமினோ அமில உயர் தாவரத் திசுக்களில் கண்டு பிடிக்கவில்லை. பாக்டீரியா, பூஞ்சை போன்றவைகளில்தான் கண்டு பிடித்துள்ளனர்.

தளப்பொருள்	முடிவுப் பொருள்	நொதி	இணைநொதி
1. அலனைன்	பைருவேட் + NH_3	L-அலனைன் டீஹைடிரோஜினேஸ்	FAD (ஃப்ளேவின் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட்)
2. குளூடாமிக் அமிலம்	ஆல்ஃபா கீடோ-குளூடாரிக் அமிலம் அல்லது ஆல்ஃபா கீடோ குளூடாரேட் + NH_3	குளூடாமேட்-டீஹைடிரோஜினேஸ்	NAD
3. அஸ்பார்டிக் அமிலம்	ஃப்யூமாரிக் அமிலம் + NH_3	அஸ்பார்டேஸ்	

பல அமினோ அமிலங்களின் சிதைமாற்றங்களைத் தனித்தனியாக ஆய்ந்ததில், அவை அனைத்தும் முடிவில் பைருவேட் என்ற கீடோ அமிலத்தையோ அல்லது அஸிடைல்கோ ஏ என்ற பொருளையோ உற்பத்தி செய்கின்றன. எனவே இவற்றின் முடிவுப் பொருள்கள் மேற்கண்ட இரு பொருள்களில் (பைருவேட், அஸிடைல்கோ ஏ) ஒன்றாக இருத்தல் வேண்டும் என்பது பெறப்படும்.

அலனைன், ஸீரைன் என்ற அமினோ அமிலங்கள் பைருவிக் அமிலத்தை நேரிடையாகவோ, ஓரிரண்டு படிகளிலோ தோற்று

விக்கின்றன. மற்றும் பல அமினோ அமிலங்கள் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் வரும் கூட்டுப் பொருள்களைத் தோற்றுவிப்பதன்மூலம் பைருவிக் அமிலப் பாதையை அடைகின்றன.

சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் வரும் கூட்டுப் பொருள்கள் அனைத்தும் முடிவில் ஆக்ஸலோ அஸிடேட் (Oxalo acetate) என்ற கூட்டுப் பொருளை உற்பத்தி செய்கின்றன. இது மேலும் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியைத் துவங்கலாம். அல்லது தன் நான்கு கார்பன் களில் ஒன்றைக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாக வெளிவிட்டு மூன்று கார்பன் கூட்டுப்பொருளான பைருவிக் அமிலம் அல்லது ஃபாஸ்பரீ கரணம் அடைந்த ஃபாஸ்போஈனல் பைருவிக் அமிலமாக மாறலாம். இந்தக் கிரியைக்கு நொதியாவது ஆக்ஸலோ அஸிடோ கைனேஸ் (Oxalo acetokinase) என்பதாகும். இந்தக் கிரியையில் ஃபாஸ்பரீகரணத்திற்கென ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதியைக் கொடுப்பது ATP இல்லை. அதற்குப் பதில் GTP என்ற குவனோஸின் ட்ரைஃபாஸ்ஃபேட்டோ (Guanosine triphosphate) அல்லது ITP என்ற ஐனோஸின் ட்ரைஃபாஸ்ஃபேட்டோ (Inosine triphosphate) தம் ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதியை அளிக்கின்றன. எனவே சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் புகுவதற்குமுன் சில அமினோ அமிலங்கள் ஃபாஸ்போ பைருவேட்டைத் தோற்றுவிக்கின்றன. குளூடாமிக் அமிலம், அஸ்பார்டிக் அமிலம், புரோலேன், ஆர்ஜினைன், லைஸைன், ஹிஸ்டிடீன் போன்ற அமினோ அமிலங்கள் நேர்முகமாகவோ, மறைமுக மாகவோ சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் புகலாம்.

பல அமினோ அமிலங்களின் சிதைமாற்றத்தில் அஸிடைல் கோஏ (Acetyl CoA) தோன்றுகிறது. ஃபீனைல் அலனைனின் சிதை மாற்றத்தின் முடிவில் ஃப்யூமரேட்டும், அஸிடோ அஸிடேட்டும் தோன்றுகின்றன. அஸிடோ அஸிடேட்டிலிருந்து அஸிடைல் கோஏ தோன்றும். பைருவேட் சிதைமாற்றத்திலோ அல்லது வளர்மாற்றங்களிலோ பங்கு கொள்ளலாம். எனவே கார்போ ஹைடிரேட்டுகளை உற்பத்தி செய்வதிலும் அவற்றைச் சிதைக்கும் மாற்றங்களிலும் பைருவேட் நடுநாயகமாகத் திகழ்கிறது. அமினோ அமிலங்களின் சிதைமாற்றங்களிலும் பைருவேட் தோன்றுகின்றது. ஆனால் அலனைன் என்ற அமினோ அமிலம் பைருவேட்டின் அமினீகரணத்தினால் தோன்றும். பைருவேட்டிலிருந்து கார்போ ஹைடிரேட்டுகளின் சிதைமாற்றத்தில், அஸிடைல்கோ ஏ தோன்றும். பல அஸிடைல்கோ ஏ மூலக் கூறுகள் ஒன்றாக இணைந்தால் அதுவே கொழுப்பு அமிலமாகிறது. அஸிடைல்கோ ஏ மேற்கண்ட வளர்மாற்றத்தில் பங்குகொள்ளவில்லை எனில் அது ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டுடன் சேர்ந்து சிட்ரிக் அமிலத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது. இதனால் சிட்ரிக் அமில சுழல் மாற்றங்கள் ஏற்பட்டு முடிவில்

கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும், நீரும் வெளி வருகின்றன. மேற்கண்ட சிதைமாற்றங்களில் வளர்மாற்றங்களுக்கும் இடமிருப்பதைப் பார்த்தோம். எனினும் அவை சிதைமாற்றங்களாகவே முடிவதுண்டு.

லிபிடுகளின் சிதைமாற்றங்கள்

லிபிடுகளின் சிதைமாற்றங்களில் முதலில் அவற்றைக் கிளிஸரால், கொழுப்பு அமிலங்கள் என்ற கூறுகளாகத் துண்டிப்பது லிபேஸ்கள் (Lipases) என்ற நொதிகள். பின்னர் கொழுப்பு அமிலங்களைப் பல நொதிகள் சிதைக்கின்றன.

கொழுப்பு அமிலங்களின் ஆக்ஸீகரணக் கிரியைகளை விலங்குகளில் பெரும்பாலும் ஆய்ந்தறிந்தபோதும் தாவரங்களிலும் இந்த மாற்றங்களே காணப்படுகின்றன என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர்.

கொழுப்பு அமிலங்களின் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியில் பங்கு கொள்ளும் நொதிகள் அனைத்தும் மைட்டோகோன்ட்ரியாவில் காணப்படுகின்றன. அண்மையில் தாவரங்களில் கொழுப்பு அமிலங்களின் மற்றொரு ஆக்ஸீகரணப் பாதை ஸைடோபிளாசத்தில் நிகழ்வதாகக் கண்டுபிடித்துள்ளனர்.

வளர்மாற்றங்களில் உணவுப் பொருள்கள் அனைத்தும் கட்டப்படுகின்றன. சூரிய ஒளியின் உதவியால் மேற்கண்ட உணவுப் பொருள்கள் உற்பத்தியாகின்றன. சூரிய ஒளி சக்தியை உயிர் வேதியியல் சக்தியாக மாற்றும் திறமை தாவரங்களுக்கு உண்டென்றால் அது அவைகளில் காணப்படும் நொதிகளின் வினைத் திறனைக் குறிக்கின்றது. அவைகளில் சிலவற்றைக் கீழே காண்க.

தளப் பொருள்	முடிவுப் பொருள்	நொதி	இணை நொதி
1. ரிபுலோஸ்-5-ஃபாஸ்பேட் + ATP	ரிபுலோஸ்-1,5-டை-பாஸ்ஃபேட் + ADP	பென்டோஸ்-கைனேஸ்	—
2. ரிபுலோஸ் 1,5-டைஃபாஸ்ஃபேட் + CO_2	6 கார்பன்கள் கொண்ட இடைப்பொருள்	கார்பாக்ஸி-டிஸ்ம்யூடேஸ்	—

தளப்பொருள்	முடிவுப்பொருள்	நொதி	இணைநொதி
3. ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் + ATP	∴பாஸ்∴போகிளிஸரால் டிஹைட்	டிஹைடிரோஜினேஸ்	$NADPH_2$
4. ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைட்	டைஹைட்ராக்ஸி அஸிடோன். .பாஸ் ஃபேட்டு	ஐஸோமிரேஸ்	—
5. ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைட் + டைஹைட் ராக்ஸி அஸி டோன் ஃபாஸ்ஃபேட்	∴ப்ரக்டோஸ் 1, 6 டை.∴பாஸ்பேட்டு	ஆல்டொலேஸ்	—
6. ∴ப்ரக்டோஸ் 1, 6 டை.∴. பாஸ்ஃபேட்	∴ப்ரக்டோஸ் 6 - ஃபாஸ்ஃபேட்	∴பாஸ்∴படேஸ்	—
7. 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைட் + ∴ப்ரக்டோஸ் 6-பாஸ்பேட்	ஸைலுலோஸ் 5 - ஃபாஸ்ஃபேட் + எரித்ரோல் 4 - ஃபாஸ்ஃபேட்	டிரான்ஸ்கீடொலேஸ்	—
8. எரித்ரோஸ் 4-∴பாஸ் பேட் +	ஸிடோ ஹெப்டுலோஸ் 1, 7 - டை. - ஃபாஸ் பேட்	ஆல்டொலேஸ்	—
9. ஸிடோஹெப் டுலோஸ் 7- பாஸ்ஃபேட் + 3.∴பாஸ் ∴போகிளிஸ ரால் டிஹைட்	ஸை 5 - ஃபாஸ்ஃபேட் + ரிபோஸ் 5 - ∴பாஸ்பேட்	டிரான்கீடொலேஸ்	—
10. ஸைலுலோஸ் 5 ∴பாஸ் ஃபேட்	ரிபுலோஸ் 5-பாஸ் ஃபேட்	எபிமெரேஸ்	—
11. ரிபோஸ் 5 - ஃபாஸ்ஃபேட்	ரிபுலோஸ் 5 - ∴பாஸ் ஃபேட்	ஐஸோமிரேஸ்	—

மற்றும் பல கிளைமாற்றங்களில் பங்குகொள்ளும் நொதிகள் உள்ளன. அவற்றை 'ஒளிச்சேர்க்கை' என்ற அத்தியாயத்தில் காண்போம்.

தாவரங்களிலும் மற்ற உயிரிகளிலும் மேற்கண்டபடி எண்ணிறந்த நொதிகள் தத்தம் செயலைச் செவ்வனே செய்து வருகின்றன. அவற்றின் தோற்றத்திலிருந்து, அவை வினைபுரியும் நிகழ்ச்சி வரை ஒரு சீரிய ஒழுங்குமுறை காணப்படுகிறது. இவைகளின் வினைகளுக்கு ஏற்றாற்போல் உயிரிகளின் உருவ அமைப்பும் கிட்டப்பட்டுள்ளது. எனவேதான் உருவமும் வினையும் இணையாக இயங்கு சக்தியைப் பெற்றிருக்கின்றன. நொதிகள் உயிரியக்கத்தின் கருவிகள். உயிரியின் உடலே தொழிற்சாலை. மனிதன் கட்டும் தொழிற்சாலை ஏராளமான சக்தியைச் செலவழித்தும் மிகக் குறைந்த உற்பத்தியையே காட்டுகிறது. ஆனால் இயற்கையின் உயிர்கள் என்னும் தொழிற்சாலைகள் மிகக் குறைந்த அளவு சக்தியை உபயோகித்து உயிரியக்கத்தைப் பேணுகின்றன.

ஏனெனில் இயற்கை உபயோகிக்கும் உயர் சக்திவாய்ந்த கருவிகள் நொதிகளாகும்.

4. கதிரியக்க ஐஸொடோப்களும் உயிர்வேதியியல் ஆய்வுகளும்

1890-இல் ரான்ட்ஜன் எக்ஸ்-கதிர்களைக் கண்டுபிடித்தார். தற்செயலாக பெக்யூரெல் (Becquerel) என்பவர் மூலகங்களில் கதிரியக்கம் இருப்பதைக் கண்டுபிடித்தார். இவற்றையடுத்துப் பல ஆண்டுகள் பௌதிகத் துறையினரும் வேதியியல் வல்லுநரும். உயிர்வேதியியல் அறிஞரும் கதிரியக்கத் தன்மையை ஆய்வதில் மும்முரமாக முனைந்தனர். இவர்களின் வரிசையில் க்யூரி தம்பதிகள் (Curies), ஈன்ஸ்டீன் (Einstein), ருதெர்ஃபோர்ட் (Rutherford), சேட்விக் (Chadwick), ஹான் (Hahn), ஸ்ட்ராஸ்மேன் (Strassman). மீய்ட்னர் (Meitner), ஃபெர்மீ (Fermi), காம்ப்டன் (Compton), லாரென்ஸ் (Lawrence) போன்ற மேதைகளைக் குறிப்பிடலாம்.

அணுக்களைப்பற்றி ஆய்வுகள் அவற்றிலுள்ள நியூக்ளியஸ் பகுதியைப் பற்றியவையாக அமைந்தன.

1920-இல் ஹெவிஸி (Hevesy) என்பவர் ஐஸோடோப்களை உயிர்வேதியியல் ஆய்வுகளில் முதன்முதலாக உபயோகப்படுத்தினர். பீன் (Bean) செடிகளில் கதிரியக்க லெட்டை (Lead)ச் செலுத்தி, அதன் மார்க்கத்தை அவர் ஆய்ந்தார். இங்ஙனம் துவங்கிய சோதனையால், ஐஸோடோப்களைத் தாவரங்கள் ஏற்கின்றன என்றும், அவை தாவரத்தின் உயிர்வேதியியல் மாற்றங்களில் சாதாரண ஐஸோடோப்களைப்போலவே வினைபுரிகின்றன என்றும் கண்டுபிடித்தனர். கதிரியக்கப் பண்பினல் மேற்கண்ட ஐஸோடோப்களின் போக்கைத் தொடர்ந்து அறியலாம். எனவே இந்த மூலகங்களை ட்ரேஸர் எலிமெண்ட்கள் (Tracer elements) என்றும் இந்தச் செய்முறையை ட்ரேஸர் டெக்னிக் (Tracer technique) என்றும் குறிப்பிடுகின்றனர். இத்தகைய ஐஸோடோப்களின் தன்மை என்ன ?

ஒரு மூலகத்தின் எல்லா அணுக்களும் ஒரே எண்ணிக்கையுள்ள புரோட்டான்களையும் எலெக்ட்ரான்களையும் கொண்டிருக்கின்றன. இவற்றில் புரோட்டான்கள் அணுவின் மையப்பகுதியான நியூக்ளியஸ் அமைப்பில் காணப்படுகின்றன. இந்த நியூக்ளியஸ்ஸைச் சுற்றி எலெக்ட்ரான்கள் தத்தம் சுழல் பாதையில் சுழலுகின்றன. மேற்குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையை (புரோட்டான் : எலெக்ட்ரான்) அணுவின் எண் அல்லது மூலகத்தின் அணு எண் (Atomic number) என்று குறிப்பிடுகின்றனர். ஐஸொடோப் என்று குறிப்பிடப்படும் பொருள் ஒரு அணுவாகும். இது ஒரு மூலகத்தின் மற்ற அணுக்களைப்போன்ற அணு எண்ணிக்கையுள்ளது. ஆனால் அதன் அணு எடை (Atomic weight) வேறுபடுகிறது. இத்தகைய எடைமாற்றம் நியூக்ளியஸ்ஸினால் ஏற்படுகிறது. இந்த மாற்றத்திற்குக் காரணமானவை. நியூக்ளியஸ்ஸில் காணப்படும் நியூட்ரான்களாகும் (Neutrons). இவைகள் அதிகமாகவோ அல்லது குறைவாகவோ காணப்படுவதினால் எடை மாற்றம் ஏற்படுகிறது.

சான்றாக ஹைடிரஜன் அணுவை எடுத்துக்கொள்வோம். இது மிகக் குறைந்த எடையுள்ளது. இந்த வாயுவின் அணு எண் ஒன்றாகும்(1). இது இயற்கையாகக் காணப்படுகிறது. நிலைத்த தன்மையையுடையது. இதன் நியூக்ளியஸ்ஸில் ஒரே ஒரு புரோட்டானும், சுழல் அச்சில் ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரானும் காணப்படுகின்றன. இதில் கதிரியக்கம் காணப்படுவதில்லை.

மற்றொரு ஹைடிரஜன் ஐஸொடோப் என்று அழைக்கப்படுவது ட்யூடிரியம் (Deuterium) எனலாம். இதுவும் நிலைத்த தன்மையையுடையது. இதிலும் ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரான் தான் காணப்படுகிறது. ஆனால் இதன் நியூக்ளியஸ்ஸில் ஒரு புரோட்டானுடன், நியூட்ரானும் சேர்ந்து காணப்படுகின்றன. எனவே இந்த ஐஸொடோப்பின் அணு எண்ணிக்கையை 1 எனக் குறிப்பிட்டாலும் அதன் எடையை 2 எனக் குறிப்பிடவேண்டும்.

மூன்றாவது வகை ஐஸொடோப், ட்ரைஷியம் (Tritium) எனப்படுகிறது. இதில் கதிரியக்கமும் காணப்படுகிறது.

இதன் அணு எண் ஒன்று. ஆனால் நியூக்ளியஸ் பகுதியில் 2 நியூட்ரான்கள் காணப்படுகின்றன. இதனால் இதன் அணு எடை 3 என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. அணு வெடிகளின் வெடித்தலில் இது உற்பத்தியாகி வாயு மண்டலத்தில் கலக்கும். யுரேனியத்திலிருந்தும் கிடைக்கின்றது. அணு ரியேக்டர்களில் (Atomic reactors) இது உற்பத்தி செய்யப்படலாம். இந்த ஐஸொடோப்பின் கதிர்வீச்சில் பீ துகள்கள் இருக்கின்றன. இந்த பீடாத் துகள்கள்

சிறிதுசிறிதாக அழிந்துகொண்டு வரும் நியூக்ளியஸ் பகுதிகளிலிருந்து வெளி வருகின்றன. இதனால், இந்தப் பொருளை ஒரு உயிரியின் உடலில் கண்டுபிடிப்பதும், அதன் அளவை நிர்ணயித்தலும் எளிதாகின்றது. எனவே இது உயிர் வேதியியல் ஆய்வாளர்களின் கையில் ஒரு சிறந்த கருவியாக விளங்குகின்றது.

ஒவ்வொரு கதிரியக்க மூலகமும் சில தனிப்பட்ட பண்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றது.

I. 1) கதிர்வீச்சின் தன்மை மூன்று வகைகளில் இருக்கலாம்.

1. சில ஆல்ஃபா துகள்கள் வெளி விடலாம்.
2. ஒரு சில பீடா துகள்களை வெளி விடலாம்.
3. மற்றும் சில காம்மா கதிர்களை வீசுகின்றன.

II. கதிர்வீச்சின் சக்தி.

III. கதிரியக்கத்தை இழக்கும் காலம் (the rate of disintegration of half the wt. of half-life.)

ஒரு மூலகத்தின் ஐஸொடோப்கள் அனைத்தும் வேதியியல் தன்மையில் ஒத்திருக்கின்றன. அவைகளின் அணு எடைதான் வேறுபடுகின்றது. எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பு ஒரே நிலையில் இருக்கின்றது. வேதியியல் தன்மையை எலெக்ட்ரான்கள் நிர்ணயிப்பதாலும் ஐஸொடோப்களின் எலெக்ட்ரான் அமைப்புகளில் மாற்றம் இல்லாதிருப்பதினாலும்தான் ஐஸொடோப்கள் அனைத்தும் ஒரே வேதியியல் தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றன. இதுதான் குறிப்பிடத்தக்க அம்சமாகும். எனவே உயிர்வேதியியல் மாற்றங்களில் ஐஸொடோப்களை உபயோகிப்பதால், கிரியைகளில் மாற்றம் ஏற்படும் என்ற நிலைமையில்லை. சான்றாகக் கார்பன் ஐஸொடோப்களில் C^{11}, C^{12}, C^{14} என்றவை உள்ளன. இவையனைத்தும் ஒரே வேதியியல் தன்மையையுடையன. எனவே இவைகளிலிருந்து தயாரித்த (Co_2) கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு ஒரே தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றது. C^{14} என்ற ஐஸொடோப்பில் கதிரியக்கமும் காணப்படுவதாய் இதனைத் தாவர உயிரிகளில் தொடர்ந்து ஆய்வது எளிதாக உள்ளது. மேலும் இது நீடித்தக் கதிரியக்கத் தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றது. மேற்கண்ட $C^{11}O_2$-வைத் தாவரங்கள் உபயோகித்தலையும், இது பல உயிர் வேதியியல் மாற்றங்களை அடைந்து, வளர்மாற்றங்களிலும், சிதைமாற்றங்களிலும் ஈடுபடும் மார்க்கங்களையும் கண்டுபிடிக்கின்றனர். எனவே கதிரியக்கம்

கொண்ட ஐஸொடோப்கள் அறிவுலகிற்குக் கிடைத்த கருவி எனலாம்.

ஒளிச்சேர்க்கையின் ஆய்வுகள் பல கதிரியக்க மூலகங்களான C^{14}, O^{18} போன்றவைகளைப் பயன்படுத்தி நிகழ்த்தப்பெற்றன.

ஆக்ஸிஜன் வெளியீடு ஒளிச்சேர்க்கையில் நிகழ்வதை அறிவோம். முதன்முதலில் ஆக்ஸிஜன் வெளியீடு கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடிலிருந்து ஆக்ஸிஜன் வெளி வருவதால் நிகழ்கிறது என்று கருதினர். O^{18} என்ற கதிரியக்க ஆக்ஸிஜனை உபயோகித்து ஆய்ந்து பார்த்ததில் முற்றிலும் வேறுபட்ட உண்மை தெளிவாயிற்று. $H_2\ O^{18}$ என்ற நீரின் உருவில், O^{18} தாவரங்களுக்கு அளிக்கப்பட்டது. வெளிவரும் ஆக்ஸிஜனை கீஜர் கௌன்ட்டர் (Geiger Counter) என்ற கருவியில் கணக்கிட்டதில், அது கதிரியக்க ஆக்ஸிஜனைக் கொண்டிருந்ததைக் கண்டுபிடித்தனர். எனவே ஆக்ஸிஜன், தாவரங்களுக்கு அளிக்கப்பெற்ற $H_2\ O^{18}$ என்ற நீரிலிருந்து வெளிவிடப்பட்டிருக்க வேண்டும் என்பது தெளிவாகியது.

கதிரியக்கக் கார்பனை (C^{14}) உபயோகித்து நிகழ்த்தும் ஒளிச்சேர்க்கையின் ஆய்வுகள் இன்னும் முற்றுப் பெறவில்லை. அண்மையில் ஹேட்ச்சும் ஸ்லேக்கும் நிகழ்த்திய ஆய்வுகளில் கதிரியக்கக் கார்பன் விரைவில் டை கார்பாக்ஸில் அமிலங்களில் காணப்படுவதைக் கண்டுபிடித்தனர். இதனால் ஒரு புதிய கார்பன் பாதை நிலைப்பாட்டும் உருவாகியுள்ளதை நாம் இன்று காண்கிறோம்.

நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு தாவரங்களில் நிகழும் ஒரு அரிய சாதனை என்று அறிவோம். நைட்ரஜன் நிலைப்படுத்தலில் உள்ளார்ந்துள்ள மாற்றங்களை ஆய்வதற்கென N^{15} என்ற நைட்ரஜன் ஐஸொடோப்பினை உபயோகப்படுத்துகின்றனர். கூட்டுயிர்கள் நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு நிகழ்த்தும் திறனை இதனால் கண்டறியலாம்.

கதிரியக்கக் கார்பன் அல்லது நைட்ரஜன் ஐஸொடோப்களைக் கொண்ட அமினோ அமிலங்களைப் புரதச் சேர்க்கையில் ஈடுபடுத்தி ஆய்தல் அண்மைக் காலத்தில் பெருமளவில் நிகழ்கின்றது. ஏனெனில் அமினோ அமிலத் தொடர், புரதச் சங்கிலியில் குறிப்பிட்ட அமைப்பில் காணப்படுவதால்தான் புரதத்தின் தன்மை நிச்சயிக்கப்படுகிறது. இத்தகைய அமைப்பினை ஆய்ந்தறிதல் எளிதல்ல. மேலும் அமினோ அமிலங்களை அஞ்சல் RNA எங்ஙனம் ஒன்று சேர்க்கின்றது என்ற ஐயத்தினைத் தெளிவாக்கியது கதிரியக்கம் கொண்ட பொருள்களினால் சாத்தியமாகியது. சங்கேதம் அல்லது ஜெனிடிக் கோட் (Genetic Code) என்றழைக்கப்படும்

சிக்கலான அமைப்பினைக் கதிரியக்கம்கொண்ட பொருள்களை (நைட்ரஜன் காரங்களான ப்யூரீன், பிரமிடின் வகைகள்) உபயோகித்துக் கண்டுபிடித்தனர். அல்லது ஒரே வகை நியூக்ளியோடைடுகளைக் கொண்ட RNA இழைகளையும் கதிரியக்கம் கொண்ட அமினோ அமிலங்களையும் உபயோகித்து எந்த அமினோ அமிலம் ஏற்றுக் கொள்ளப்படுகிறது என்பதைக் கண்டு பிடித்தனர்.

எனவே கதிரியக்கப் பொருள்கள் அல்லது ஐஸோடோப்கள் தாவர வளர்சிதை மாற்றங்களின் ஆய்வுகளில் சிறந்த கருவிகளாகத் திகழ்கின்றன.

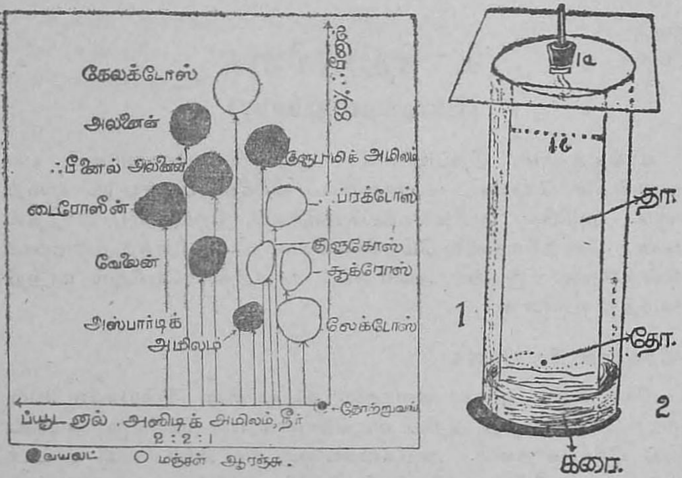
5. நிறப்பிரிகை
(Chromatography)

காகிதத்தாள் நிறப்பிரிகை (Paper chromatography) பல பொருள்கள் கொண்ட கலவையைப் பிரிக்கப் பயன்படும் முறை யாகும். அமினோ அமிலங்களைப் பிரித்தல், நிறமிகளைப் பிரித்தல் போன்ற சோதனைகளில் மேற்கண்ட முறை ஒரு சிறந்த முறையாக விளங்குகிறது. இதனை அண்மைக் காலத்தில் பெரிதும் மாற்றி அமைத்து உள்ளனர்.

காகிதத்தாள் நிறப்பிரிகை

மிகச் சிறிய அளவு கரைசலை வடிதாளின் (Whatman filter paper) மேல் ஊற்றி அதில் அடங்கியுள்ள பல அமினோ அமிலங் களைப் பிரிக்கின்றனர். அத்தகைய ஒரு துளி 0·05 மில்லி லிட்டர் இருக்கும். அமினோ அமிலங்களைப் பிரிப்பதற்கென பல அங்ககக் கரைப்பான்களை உபயோகப்படுத்துகின்றனர். இவை ஓரளவிற்குத் தான் நீருடன் கலக்கும் தன்மையுடையன. அத்தகைய கரைப் பான்களில் சில என்-ப்யூடனல் (N-butanol), புரோபியோனிக் அமிலம் போன்றவையாகும். இவை வடிதாளில் (குரோமேடோ கிராபித்தாள்) பரவுகின்றன. இது மேல் நோக்கியோ அல்லது கீழ்நோக்கியோ நிகழலாம். இதனால் மேற்கண்ட கரைப்பான் பரவல், நுண்துளைப் பெயர்ச்சி புவிஈர்ப்பு என்ற இரு நிகழ்ச்சி களின் சேர்க்கையால் நிகழ்கின்றது எனலாம். இந்தக் கரைப்பான் கரைசல் நுனியின்மேல் பட்டுச் செல்லும்போது, அதிலுள்ள அமினோ அமிலங்களும் கரைப்பானில் கரைந்து, பெயர்ச்சியடை கின்றன. அமினோ அமிலங்களை ஒவ்வொன்றும் வெவ்வேறு வேகத்தில் நகருகின்றன. இங்ஙனம் அவை நகருவது அவற்றின் கரையும் தன்மையைப் பொருத்திருக்கின்றது. இங்ஙனம் முன்னேறிச் செல்லும் கரைப்பான் காகிதத்தாளின் விளிம்பை அடைந்தவுடன், காகிதத்தாள் கரைப்பானிலிருந்து அகற்றப்பட வேண்டும். பின்னர் அதனை உலர்த்த வேண்டும். இந்தத்தாளில்

அல்ட்ரா வயலட் கதிர்களைச் செலுத்தி, பிரிக்கப்பட்ட அமினோ அமிலங்களைக் காணலாம். அல்லது அந்தத் தாளின்மேல் நின்ஹைட்ரின் (Ninhydrin) என்ற பொருளைத் தெளித்தால் அமினோ அமிலங்களுடன் அது வினை புரிந்து நிறமுள்ள புட்டாக்களை காகிதத்தாளில் தெளிவுபடுத்திக் காண்பிக்கின்றது. ஒவ்வொரு அமினோ அமிலத்திற்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட பெயர்ச்சி வேகம் காணப்படுகிறது. அதனைப் பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம். (படம் 5.1.)



படம் 5.1. குரோமேடோகிராஃபி

தா. தாள்

தோ. தோற்றுவாய். அமினோ அமிலம், சர்க்கரை முதலியவற்றின் கலவையைக் கொண்ட துளி, கரைப்பானுக்கு அருகே காணப்படுகிறது. கரைப்பான் தாளினால் உறிஞ்சப்பட்டுக் கலவையைக் கரைத்து மேல்நோக்கிச் செல்லும்.

கரை. கரைப்பான்.

1. ஏறும் தாள் குரோமேடோகிராஃபிக்கென உபயோகிக்கும் கருவி. பெரிய உருளை வடிவில் உள்ள கண்ணாடிஜாடி.

1 *a*. அடைப்பானுடன் இணைந்த கண்ணாடிக் கொக்கியில் காகிதத்தாள் பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

1 *b*. கரைப்பான் செல்லும் முகம் (Solvent front) கரைப்பான் காகிதத் தாளின் விளிம்பை அடைந்தவுடன் அதை எடுத்து, உலர்த்துவர். பின், நின்ஹைட்ரின் என்றதைத் தூவினால் அமினோ அமிலங்கள் மாத்திரம் வயலட் நிறத்தில் தோன்றுகின்றன. சர்க்கரைப் பொருள்கள் மஞ்சள்–ஆரஞ்சு நிறத்தில் தோன்றுகின்றன.

2. தெளிவாக்கப்பட்ட இரு பக்கத்தாள் குரோமேடோ கிராம் (A developed two-dimensional chromatogram) இரு கரைப்பான்கள் உபயோகிக்கப்பட்டன.

முதல் கரைப்பான் ப்யூடனால், அஸிடிக் அமிலம், நீர் முதலியவற்றைக்கொண்ட கலவையாகும்.

இரண்டாம் கரைப்பான் 80 சதவீதம் ஃபீனாலைக் கொண்டதாகும்.

$$Rf = \frac{\text{கரைபொருள் சென்றதூரம்}}{\text{கரைப்பான் சென்றதூரம்}}$$

இதில் Rf என்பது கரைபொருள் பெயர்ச்சி வேகத்தைக் குறிப்பிடுகின்றது.

இருபக்கத்தாள் நிறப்பிரிகை (Two-dimensional paper chromatography) என்ற செய்முறை ஒளிச்சேர்க்கையில் கார்பனின் பாதையை அறிவதில் பெரிதும் உபயோகப்படுத்தப்பட்டது. க்ளோரெல்லா (Chlorella) என்ற ஆல்ஜி பாசியை உபயோகித்து ஒளிச்சேர்க்கை செய்வித்தனர். இவைகளுக்குக் கதிரியக்கக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை அளித்தனர். பின்னர் மேற்கண்ட செல்களின் சாரத்தைப் பிரித்தெடுத்தனர். இந்த சாரத்துளியைப் பெரிய காகிதத்தாள்களில் இட்டுக் கீழிறங்கும் கரைப்பான் ஓட்டத்தினுல் நிறப்பிரிகை செய்தனர். கரைப்பான் தாளின் விளிம்பை அடைந்தவுடன் தாளினை 90°க்குத் திருப்பினர். அந்த நிலையில் தாளினை மற்ருெரு கரைப்பானில் வைத்தனர். மறுமுறை கரைபொருள்கள் மற்ருெரு திக்கில் பிரிக்கப்பட்டன. இதனுல் முதலில் ஓரிரு பொருள்கள் ஒன்ருகக் காணப்பட்ட நிலைமை மாறி அனைத்தும் தனித்தனியாகப் பிரிந்து காணப்பட்டன. எனவே மிக நெருங்கிய Rf உள்ள பொருள்கள்கூட மற்ருெரு கரைப்பானின் வேறுபட்ட தன்மையால் பிரிகின்றன. இங்குக் கரை பொருள் கரைப்பானில் கரையும் தன்மையை நினைவு கூறவேண்டும்.

மேற்கண்ட காகிதத்தாள் நிறப்பிரிகையோடு கதிரியக்க ஆய்வு முறையையும் பின்பற்றுதல் சிறந்த பலனை அளிக்கின்றது.

ஏனெனில் கதிரியக்கப் பொருள்களின் பகுதிகள் 'கீஜர் டிடெக்டரில்' செல்லும்போது, அவைகளின் கதிரியக்கத் தன்மையால் அது நிறப்பிரிகையைப் பதிக்கும் படத்தில் ஒரு சிகரத்தை உண்டு பண்ணுகிறது (Chromatographic scanning gives rise to a peat on a chart recorder when a radioactive component passes under a Geiger detector). '

இதனுல் எந்தெந்தப் பொருள்களில் கதிரியக்கம் காணப்படுகிறது என்பதை அறியலாம். சான்ருகக் கதிரியக்கக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை ஒளிச்சேர்க்கையில் ஈடுபட்டுள்ள க்ளோரெல்லா தாவரங்களுக்கு அளித்ததாகக் கண்டோம். அந்தத் தாவரங்களின் செல்களிலுள்ள சாரத்தைப் பிரித்தெடுத்துக் குரோமேடோகிராஃபி முறையில் பிரித்தனர். மிகக்குறுகிய கால வரையறையில் மேற்கண்ட செல்கள் ஃபாஸ்போ கிளிஸரிக் அமிலத்தில் கதிரியக்கத்

தன்மையைக் காண்பித்தன. இதனால் பெறப்படுவது என்ன வென்றால் கதிரியக்கக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் நிலைப்படுத்தல் கிரியையில் ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் ஒரு இடைப்பொருள் என்பதாகும். எனவே மேற்கண்ட முறை உயிர் வேதியியல் மாற்றங்களைக் கண்டறிய உதவும் திறவுகோலாகிறது.

பிரிக்கப்பட்ட கதிரியக்கப் பொருள்களை எளிதில் கண்டு கொள்ள உதவுவது ஆடோரேடியோகிராஃப் (Auto radiograph) என்ற முறையாகும். உலர்த்திய குரோமேடோகிராமை (Chromato gram) எக்ஸ்-ரே புகைத்தட்டின்மேல் படும்படி வைத்தால் கதிரியக்கப் பொருள்கள் அடங்கியுள்ள பகுதிகள், கழுவிப் பார்த்தால், கருப்பாகத் தெரிகின்றன.

பலதரப்பட்ட உயிர் வேதியியல் மாற்றங்களைப் பற்றிய சோதனைகள், ஆய்வுகள் அனைத்தும் மேற்கண்ட முறையைக் கையாளுவது இதன் சிறப்பாகும்.

மெல்லிய அடுக்கு நிறப்பிரிகை (Thin layer chromatography)

இதனைச் சுருக்கி (TLC) என்றும் அழைப்பர். இந்தப் பெயர் வரக் காரணமாக அமைந்தது ஒரு கண்ணாடித் தட்டும் அதன்மேல் பூசப்பட்ட ஸிலிகாஜெல் (Silicagel) அல்லது அலுமினா (Alumina) போன்ற பொருளுமேயாகும். இவைகளுடன் தரசம் (Starch) அல்லது ஜிப்ஸம் (Gypsum) கலந்து உபயோகிக்கின்றனர். இத்தகைய அமைப்பினைக் காகிதத்தாளிற்குப் பதிலாக உபயோகிக் கின்றனர்.

இந்த முறையில் நிறப்பிரிகை செய்வது மிகச் சிறந்ததென்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். இதனை உபயோகித்தால் 20-லிருந்து 40 நிமிடங்களுக்குள் ஒரு கலவையைப் பிரிக்கமுடியும் என்று கண்டு பிடித்துள்ளனர். மேற்கண்ட காகிதத்தாள் நிறப்பிரிகையில் 2 நாட்களாவது தேவைப்படுகின்றன. ஆனால் அதே வினையை (TLC) முறையில் 3 அல்லது 5 மணியளவில் செய்து முடிக்கலாம். மேலும் கலவையிலுள்ள பொருள்களை மிகத் தெளிவாகப் பிரித்தெடுக்க பெரிய காகிதத்தாள்கள் (20″ × 20″) தேவைப் படுகின்றன. ஆனால் இங்கு (8″ × 4″) அளவுள்ள கண்ணாடித் தட்டுகளில் மேற்கண்ட நிறப்பிரிகையை நிகழ்த்தலாம்.

எனவே நிறப்பிரிகையை நுண்ணிய அமைப்பைக் கொண்ட கருவியால் செய்ய இயலும் என்பதைக் கண்டுபிடித்துள்ளனர். இதனை நுண்ணிய நிறப்பிரிகையென்று சொன்னாலும் சாலப் பொருந்தும்.

6. ஒளிச் சேர்க்கை

சூரிய ஒளி நிலத்தின்மேல் படுகின்றது; நீரின்மேல் படுகின்றது; இதனால் பெரும்பாலும், இவை வெப்பமடைகின்றன. விலங்கு, மனிதன் முதலாய அனைத்துயிரின் மேலும் சூரிய ஒளி படுகின்றது. சில சமயங்களில், நம்முடல் மேல் படும் அதிக வெப்பம், நமது தோலில் புண்ணையே உண்டுபண்ணுகிறது. ஆனால், மரம், செடி, கொடி, முதலிய தாவரங்களின்மேல் படும் ஒளிதான் உலகமே உய்யும் உணவாக உருவெடுக்கிறது.

மிகுந்த முன்னோக்குடைய ஏ. ஜென்ட் கியார்கி (A Szent Georgyi) என்பவர் கூறியதாவது: "உயிரை நடத்திச் செல்வது ஒரு சிறிய மின்சாரம். அந்த மின்சாரத்தை அளித்துக்கொண்டே யிருப்பது, சூரிய ஒளி" என்பதாகும்.

ஒளி யென்னும் மின்காந்த சக்தியை வேதியியல் சக்தியாக மாற்றுவதே ஒளிச்சேர்க்கை என்னும் நிகழ்ச்சியாகும். தாவரங்களில் மட்டுமே இது நிகழ்கின்றது. எனவே சூரிய ஒளியை ஈர்ப்பதில் தாவரங்கள் தனிச் சிறப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன.

இந் நிகழ்ச்சியின்போது, பசுந் தாவரங்கள் சூரிய ஒளியிலிருந்து பெறும் சக்தியை உபயோகித்து, நீரையும், காற்றிலுள்ள கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடையும், கார்போஹைடிரேட்டுகளாக மாற்றுகின்றன; ஆக்ஸிஜனை வெளி விடுகின்றன.

சூரிய ஒளியைப் பச்சையம் (Chlorophyll) முதலாய நிறமிகள் ஈர்த்துக்கொள்கின்றன. ஒளிச் சக்தி ஈர்க்கப்பட்டவுடன் நிகழும் மாற்றங்களைத் தொகுத்து ஒளிக்கிரியை என்றழைப்பர். இதன் முடிவில் $NADH_2$-வும் ATP-யும் உற்பத்தியாகின்றன. இவை அங்ககக் கூட்டுப் பொருள்கள். இவற்றினுள் வேதியியல் சக்தியாக மாற்றப்பட்ட ஒளிச்சக்தி பொதிந்து கிடக்கின்றது.

இவற்றின் உதவியால், பின்னர் நிகழவிருக்கும் இருள்கிரியை யில், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு (CO_2) நிலைப்படுத்தப்பட்டு, கார்போ ஹைடிரேட்டாக மாற்றப்படுகிறது.

மேற்கண்ட கிரியைகள் நிகழ்வதெங்கே ?

இந்த வினாவிற்கு விடை, பசுந் தழைகள்; பசுந் தழைகளில் உள்ள செல்கள்; அந்தச் செல்களில் குறிப்பாக பாலிஸேட் திசுவி லுள்ள செல்கள்; அத்தகைய திசுவின் முக்கியமான பகுதிகளான பசுங்கணிகள் — என ஊடுருவி ஆய்ந்ததில் பசுங் கணிகங்களை அடைந்தோம்.

பசுங்கணிகங்கள் (Chloroplastids)

பசுங்கணிகங்கள் உயர் தாவர செல்களில் காணப்படுகின்றன சிறப்பாக, இலையின் தாளில் உள்ள பாலிஸேட் திசுவிலும் (Palisade tissue), கடற்பஞ்சு போன்ற இடைவெளிகளோடு கூடிய பாரன் கைமா திசுவிலும் (Spongy Parenchyma Tissue) காணப்படு கின்றன. தாவரத்தின் தண்டுகளில், பெரும்பாலும் புறணி பகுதி களில், ஒரு சில அடுக்கு குளோரைன்கைமா செல்களில் (Chloren-chyma Cells) காணப்படும்.

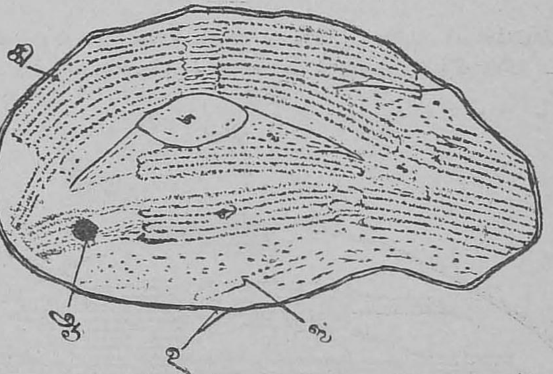
மைட்டோ கோண்ட்ரியாக்களைப்போலவே இவையும் செல்லின் ஸைடோபிளாசத்தில் இருக்கின்றன. மேலும், இவைகளும் இரு உறைகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. உள்ளுறை, ஒரு சில பகுதி களில் ஆழமற்ற உள் மடிப்புக்களைக் கொண்டிருப்பது குறிப்பிடத் தக்கது (மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களின் உள்ளுறைப் பல உள் மடிப்புக்களைக் கொண்டிருத்தலை நினைவு கூறுக).

பசுங்கணிகம் தன் கொள்ளளவில் பெரும் பகுதியில் ஸ்ட்ரோமா (Stroma) எனப்படும் தளப் பொருளைக் கொண்டிருக்கிறது. பசுங் கணிகத்தின் சிறப்பான அம்சம், அதனுள் அமைந்த சவ்வுகளின் ஒழுங்கு முறையாகும்.

இவை மிகைப்பட்ட சவ்வு அடுக்குகளான கிரானு (Membrane-rich stacks of Grana) பகுதியையும், இரண்டு அடுக்குகள் மட்டுமே அமைந்த ஸ்ட்ரோமா அடுக்கு (Stroma lamellae) பகுதியையும் கொண்டிருக்கின்றன.

முதிர்ந்த பசுங்கணிகங்களில் காணப்படும் இந்த சவ்வுகளின் அமைப்பில் வேறுபாடுகள் தோன்றுகின்றன. அது விவாதத்திற் குரியதாகும். ஆனால், சவ்வுகளைப்பற்றிய கீழ்வரும் விளக்கம் ஏற்றுக் கொள்ளக்கூடியதாக இருக்கின்றது.

ஸ்ட்ரோமா அடுக்குகளிலிருந்து வரும் வளரிகள் (Outgrowths) தட்டையானசவ்வுப் பைகளை (Membrane Pouches) உண்டுபண்ணு கின்றன. இங்ஙனம் ஏற்பட்ட பல பைகள் தத்தம் வெளிப் பகுதி யால் ஒட்டிக்கொண்டு அமைகின்றன. இதனால் சவ்விடைப்



படம் 6.1.

எலெக்ட்ரான் நுண்ணோக்கியில் பசுங்கணிகம். ஸ்பைனச் பசுங்கணிகத்தின் வெட்டுத் தோற்றம்

கி. = கிரான அடுக்கு. இது புரதம், லிபிடு, பச்சையமும் கெரோடினய்டும், நொதிகளும் அமைந்த பகுதி ஒளியை ஈர்த்தல், நீரைப் பகுத்து ஆக்ஸிஜனையும் ஹைடிரஜனையும் உண்டாக்குதல் நிகழுகின்றது,

ஸ். = ஸ்ட்ரோமா. பசுங்கணிகத்தின் அடித்தளமாக அமைந்த. கரைக்கக்கூடிய நொதிகளைக் கொண்டிருக்கிறது. கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்தி கார்போஹைடிரேட்டு போன்ற உணவுப் பொருள்களைத் தயாரிக்கும் பகுதி.

த. = தரசமணி. ஒளிச் சேர்க்கையில் உற்பத்தியாகும் சேமிப்புப் பொருள்.

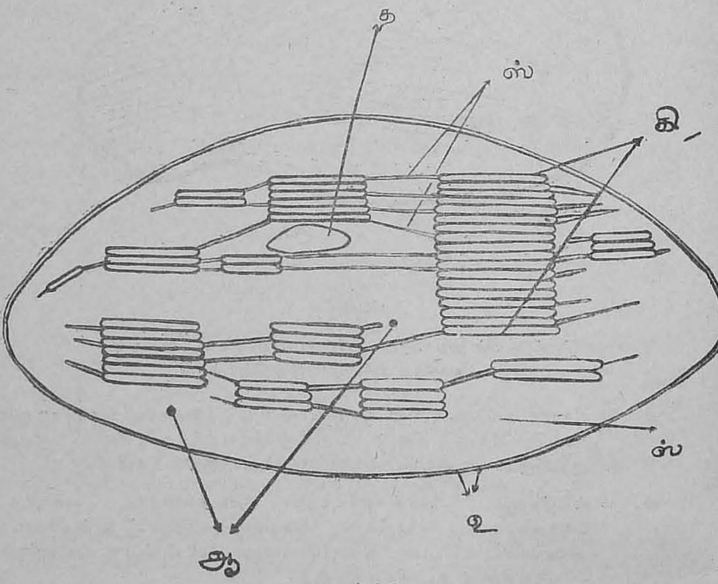
உ. = பசுங் கணிகத்தின் உறைச் சவ்வுகள் உண்டு.

ஆ. = ஆஸ்மியோஃபைல் நுண்துளி (Osmiophilic droplet).

பகுதிகள் கருப்பாகத் தடித்துக் காணப்படுகின்றன. கிரான என்று சொல்லக்கூடிய பகுதி இங்ஙனம் ஸ்ட்ரோமா அடுக்குகளோடு ஒட்டிக்கொண்டு அமைந்த சவ்வுப் பைகளின் அமைப்பினைக் குறிக்கும் (Wehrmeyer, W. "Uber Membranbil dungsprozesse in chloroplasten." planta 63, (1964), 13-30.]

ஸ்ட்ரோமா, கிரானு என்று குறிப்பிடுகையில், அவை வர்ணனைக் கென அமைந்த பெயர்களே அன்றி, அவற்றிலுள்ள சவ்வுகள் (Membranes) வெவ்வேறு வினைபுரிவன என்று கொள்வதற்கல்ல. ஏனெனில், வினையில் அவை வேறுபட்டவை என எடுத்துக் காட்ட சான்றுகள் இல்லை.

ஸ்ட்ரோமா அடுக்குகளைக் கவனிக்கையில் அவை பல கிரானுக்க ளிடை வியாபித்திருத்தலைக் காணலாம். உள்ளமைந்த சவ்வுகள்



படம் 6.2.

பசுங்கணிக வெட்டுக்தோற்றத்தின் நிலப்படம்

ஆ : ஆஸ்மியோஃபைல் நுண்துளிகள்

உ : உறைச் சவ்வுகள் இரண்டு. உள்ளுறைச் சவ்வும் வெளியுறைச் சவ்வும்

கி : கிரானு அடுக்கு

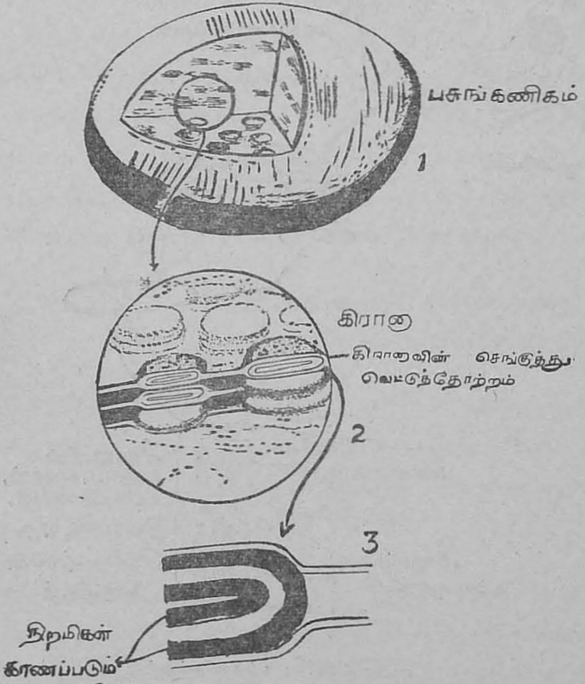
ஸ : ஸ்ட்ரோமா அடுக்கு

த : தரசமணி

ஒன்ருெடொன்று இணைந்ததாகும். கணிகங்களின் உள்ளே அமைந்த சவ்விடை வெளி (Space enclosed within the internal mem rane system) தொடர்ச்சியானதாகும் (Continuum).

நிறமிகள் (Pigments)

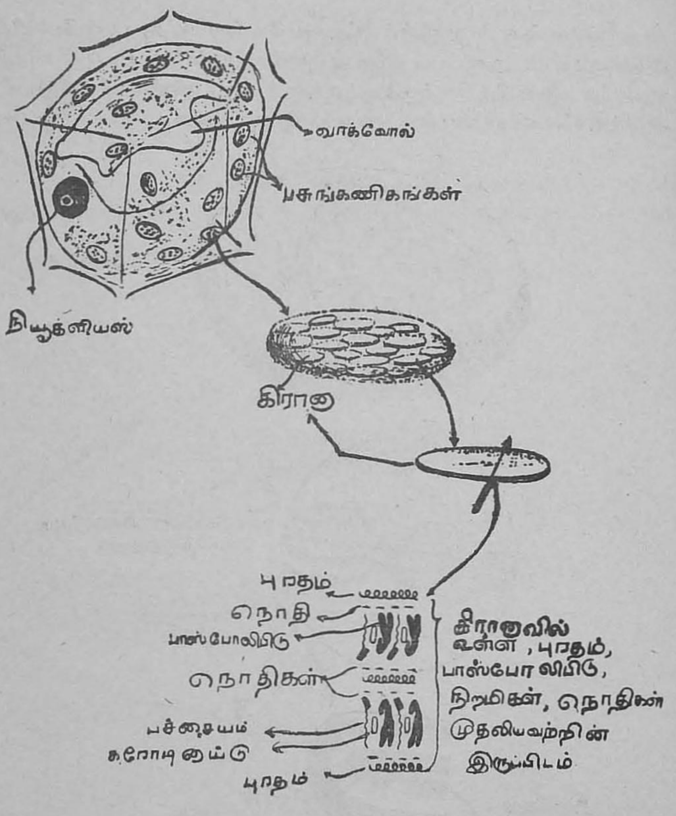
சவ்வுகள் என்று குறிப்பிட்டவுடனேயே புரத, பாஸ்போலிபிடு அடுக்குகளின் அமைப்பு நினைவுக்கு வரவேண்டும். பசுங் கணிகத்தினுள்ளே வியாபித்திருக்கும் சவ்வுகளும் புரத, பாஸ்போலிபிடுகளின் அடுக்குகளைக்கொண்டவையாகும். இவற்றினிடையே கிரான பகுதி



படம் 6.3a.

பசுங்கணிகமும் கிரானவும்

1. பசுங்கணிகத்தின் முப்பக்கத் தோற்றம். நடுப்பகுதி குடைந்தெடுக்கப் பட்டுள்ளது.
2. கிரானவின் செங்குத்து வெட்டுத்தோற்றமும் மேல்பரப்புத் தோற்றமும், சவ்வுகள் இரட்டையாகக் காணப்படுவதும், கிரான பகுதிகளில் மட்டும் இந்த அமைப்பில் மாற்றம் காணப்படுவதையும் கவனிக்கவும்.
3. கருப்பாகக் காணப்படும் பகுதிகள் நிறமிகள் உள்ள பகுதிகள்



படம் 6.3b. பசுங்கணிகங்கள்

களில், நிறமிகள், ஒரு மூலக்கூறு அடுக்காகக் (Monomolecular layer) காணப்படுகின்றன.

பச்சையம்

நிறமிகளில், பச்சையம் (Chlorophyll), சிறப்பான நிறமி யாகும். இந்தப் பச்சைய நிறமியே, ஒளிச் சேர்க்கையில், முக்கிய வினை புரிகிறது.

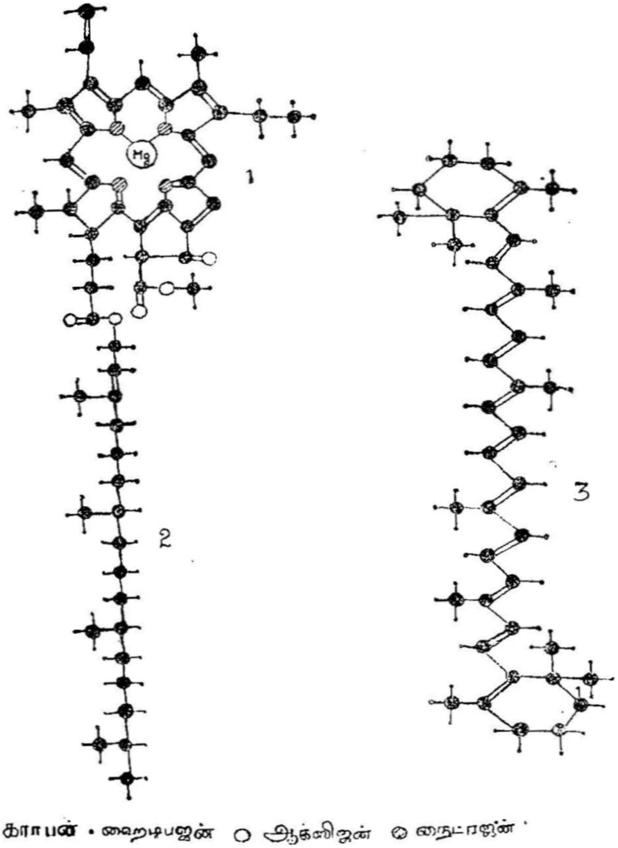
பச்சைய நிறமியில் சுமார் ஏழு வகைகளைக் கண்டுபிடித்திருக்கின்றனர். அவை, பச்சையம் a, b, c, d, e, பாக்டீரிய பச்சையம் (Bacterio chlorophyll), பாக்டீரியவிரிடின் (Bacterio Viridin) எனப்படுகின்றன. இவற்றுள் முக்கியமாக, பச்சையம் a, b என்ற இரண்டினைப்பற்றி நன்கு அறிவோம். இவையிரண்டும் சேர்ந்து (நிறமிகள் உள்ள பாக்டீரியாக்கள், பசுநீல, பழுப்பு, சிவப்பு ஆல்ஜி பாசிகள், முதலியவற்றைத் தவிர) ஏனைய சுயஜீவி தாவரங்கள் அனைத்திலும் காணப்படுகின்றன. பச்சையம் a என்ற நிறமி, பசுநீல வண்ணத்தை உடையதாகவும், பச்சையம் b, பசு மஞ்சள் வண்ணத்தை உடையதாகவும் இருக்கின்றன. பச்சையம் c, d, e என்பன, ஆல்ஜி பாசிகளில் மட்டும், பச்சையம் a-யுடன் காணப்படுகின்றன.

ஒளிச்சேர்க்கை பாக்டீரியாக்களில் பிரத்யேகமாகக் காணப்படுவன, பாக்டீரியப் பச்சையமும், பாக்டீரிய விரிடினுமாகும்.

வில்ஸ்டாட்டர் (Willstatter) என்பவர் 1905-லிருந்து 1913 வரை, பச்சைய மூலக்கூறு ஒன்றின் உருவ அமைப்பை ஆராய்ந்தார். உட்வார்ட் (Woodward 1960) என்பவர் பச்சைய மூலக்கூறு ஒன்றினை உற்பத்தி செய்தார்.

பச்சைய மூலக்கூறு ஒன்றின் அமைப்பினைக் காண்போம். இதில் முக்கியமான தலைப்பகுதி, நான்கு பைரோல் வளையங்களைக் கொண்ட ஒரு வளையமாகும். (Tetraphytol ring) ஒரு பைரோல் வளையத்திலிருந்து வால்போல் நீண்டபகுதி, ஆல்கஹால் தொடரான ஃபைடால் (Phytol tail) பகுதியாகும்.

பச்சைய மூலக்கூறொன்றில் சூத்திரம் $C_{55}\ H_{72}\ O_5\ N_4\ Mg$ எனப்படும். இதில் கார்பன் அணுக்கள் 72ம், ஆக்ஸிஜன் அணுக்கள் (5) ஐந்தும், நைட்டிரஜன் அணுக்கள் 4ம், மக்னீஸிய அணு 1ம் உள்ளன.



படம் 6.4 குளோரோஃபிலும் கரோடீனும்

குளோரோஃபில்

1. குளோரோஃபில் மூலக்கூறில், கெட்டியான, சிக்கலான அமைப்புடைய பார்ஃபைரின் பகுதி (Porphyrin structure) இதில் காணும் இணைப்புப் பட்டைகளின் பிணைப்பு, தடம் மாறலாம். ஒளிக்கிரியைக்கு உதவும் பகுதி இதுதான். இது ஒளியை ஈர்ப்பதனால் கிடைக்கும் சக்தியை சேகரிக்கிறது.

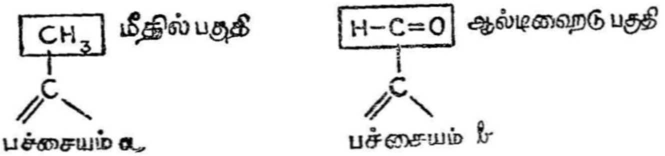
2. நீண்ட ஃபைடால் பகுதி. வால்போன்று காணப்படுகிறது.

கரோடீன்

3. இதுவும் ஒளியை ஈர்க்கும்.

இது இரண்டு வைட்டமின் A மூலக்கூறுகள் இணைந்த அமைப்பாகும்.

பச்சையம் a மூலக்கூறிலிருந்து, பச்சையம் b மூலக்கூறு ஒரு சிறிதே வேறுபட்டிருக்கிறது. பச்சையம் b மூலக்கூறில் மூன்ருவது கார்பன் அணுவில் ஆல்டிஹைடு பகுதி இருக்கின்றது. அதே இடத்தில், பச்சையம் a மூலக்கூறில் ஆல்டிஹைடு பகுதிக்குப் பதிலாக, மீதைல் (Methyl group) பகுதியுள்ளது (படம் 6.4b)



படம் 6.4b—பச்சையம் a, b நிறமிகளின் வேற்றுமை

பச்சையம் a-யின் உருவ அமைப்பினை பாக்டீரிய பச்சையமும், இருளில் வளர்ந்த தாவரங்களில் தோன்றும் ப்ரோடோ பச்சையமும் (Proto chlorophyll) பெற்றிருந்தபோதும், இவற்றில் காணப்படும் ஹைடிரஜனின் எண்ணிக்கை வேறுபடுகின்றது. ப்ரோடோ பச்சையத்தைவிட 2 ஹைடிரஜன் அணுக்கள், பச்சையம் a-யிலும், b-யிலும் அதிகமாகக் காணப்படுகின்றன. பின்கண்ட பச்சையம் a, bஐவிட அதிக ஹைடிரஜன் (Tetra hydroporphyrin) எண்ணிக்கையுடைய வளையத்தைக் கொண்டது பாக்டீரியப் பச்சையமாகும்.

நிறமிகள் ஒளியை ஈர்க்கின்றன. பச்சையம் a-யும், b-யும், ஒளியில் நீல வயலட் (Blue violet) பகுதியையும், சிவப்புப் பகுதியையும் ஈர்க்கின்றன. இது, ஹைடிரஜன்களைக் கொண்ட பைரோல் வளையங்களினுல் ஏற்பட்டது எனக் கருதுகின்றனர். எனவே, மையத்திலுள்ள மக்னீஸிய அணுவும், நீண்ட ஃபைடால் பகுதியும் இதில் பங்கேற்கவில்லை என்பது புலனுகிறது.

ரத்த நிறமியான ஹீமும், ஸைடோகுரோம்களும், பச்சையமும், பைரோல் வளையங்களைத் தம் உருவ அமைப்பில் கொண்டிருப்பதால் ஒத்திருக்கின்றன. ஆனுல் பச்சையத்திலுள்ள பைரோல் வளையத்தின் நடுவே காணப்படுவது மக்னீஸிய அணுவாகும். ஸைடோகுரோம்களிலும், ஏனைய ஹீம் புரதங்களிலும் பைரோல் வளையங்கள் புரதத்தோடு இணைந்துள்ளன. பச்சையம் புரதத்தோடு இணைந்திராவிட்டாலும் புரத, லிபிடு சவ்வுகளின் இடையே காணப்படுகின்றது. பைடால் பகுதி ஒன்று மிகுதியாகக் காணப்படுகின்றது. பைரோல் வளையங்

களைக் கொண்ட பொருள்கள், செல்லில் எங்ஙனம் உற்பத்தியாகின்றன என்பது இன்னும் முடிவாகத் தெரியவில்லை.

அண்மையில் பைரோல் வளையங்களைக் கொண்ட பொருள்களின் வளர்சிதை மாற்றங்களை ஆய்ந்ததில் சில வேதியியல் மாற்றங்கள் தெளிவாயின. இத்தகைய ஆய்வுகளில் பங்கு கொண்ட சிறப்பு கிரேனிக் (Granick) என்பவரையும் ஷெமின் (Shemin) என்பவரையும் சாரும். கிரேனிக் பச்சையத்தின் சிதை மாற்றங்களை ஆய்ந்தார். ஷெமின் பைரோல் வளையங்களின் வளர்ச்சியை ஆய்ந்தார்.

பச்சையம் தயாரிக்கப்படுதல்

கிளைஸைன் (Glycine) என்ற பொருளும், ஸக்ஸினைல் கோஏ (Succinyl CoA) என்ற பொருளும் சேர்ந்து ஆல்பா-அமினோ-பீடா கீடோ அடிபிக் அமிலம்(a-amino-B-keto adipic acid)உண்டாகிறது. கார்பன் நீக்கமடைந்து, அமினோலீவூலினிக் அமிலம் (Aminolevulinic acid) ஆகிறது. பின்கண்ட அமினோலீவூலினிக் அமில மூலக்கூறுகள் இரண்டு சேர்ந்து பார்ஃபோபிலினோஜன் (Porphobilinogen) உண்டாகிறது.

நான்கு பார்ஃபோபிலினோஜன்கள் ஒன்ருகச் சேர்ந்து ஒரு பார்பைரின் வளையத்தை உண்டு பண்ணுகின்றன. இதுவே ப்ரோடோ குளோரோபில் (Proto chlorophyll) எனப்படும். இது ஒளியில் குறைத்தல் அடைந்து, பச்சைய மூலக்கூறினைத் தோற்றுவிக்கிறது. கூம்புடைய (Conifers) இந்த நிகழ்ச்சி இருளிலேயே நிகழ்கின்றது. இதற்கு நொதிகள் உதவுகின்றன.

பச்சையத்தோடு மற்ருெரு நிறமி இனத்தைச் சேர்ந்த கரோடினுய்டுகள் இருப்பதைப் படம் இல் காண்க.

கரோடினுய்டுகள் (Carotenoids)

கரோடினுய்டுகள், மஞ்சள், ஆரஞ்சு அல்லது சிவப்பு நிறமிகளாகும். இவை பச்சைநிறப் பகுதிகளிலும், ஏனைய பகுதிகளிலும் காணப்படலாம். பசுந்தழைகளில் இந்த நிறமிகள் பச்சையத்தினுல் மறைக்கப்படுகின்றன. ஏனெனில் அப் பகுதிகளில் பச்சையமே எஞ்சியிருக்கிறது. ஆனுல் பச்சையம் காணப்படாத பகுதிகளில் கரோடினுய்டுகளின் நிறம் தெளிவாகத் தெரிகின்றது. எடுத்துக் காட்டாக, பூசனி பூக்களிலும், சிவப்புத் தக்காளிப் பழங்களிலும் இந்த நிறமிகளைக் காணலாம்,

இவை லிபிடு கூட்டுப் பொருள்கள். எனவே இவை நீரில் கரையா. அங்ககக் கரைப்பான்களான (Organic solvent)

அஸிடோன், ஈதர் (Ether) போன்ற திரவங்களில்தான் கரையும். இவை பசுங்கணிகங்களில் பெரும்பாலும் காணப்படுவதால், ஒளிச் சேர்க்கையில் இவற்றிற்கும் பங்குண்டென எண்ணத் தோன்று கிறது. ஆனால் அது இன்னும் தெளிவாக்கப்படவில்லை.

உயர் தாவரங்களில் மட்டுமின்றி ஆல்ஜி இனத்திலும், ஒளிச் சேர்க்கை பாக்டீரியாக்களிலும் பூஞ்சைகளிலும் கரோடினாய்டுகள் காணப்படுகின்றன.

கரோடினாய்டுகள் கரோடீன், ஸேன்தோபில் என இரு வகைப் படுகின்றன. இவற்றுள் கரோடின் முதன் முதலாகப் பிரித்தெடுக் கப்பட்ட கரோடினாய்டாகும்.

1831-ல் மேக்கென்ரோடர் (Mackenroder) என்பவர் கேரங்டின் வேர்த் திசுவிலிருந்து பிரித்தெடுத்தார். பெரும்பாலும் தாவரங்களில் காணப்படும் கரோடினாய்டு, பீடாகரோடீன் ஆகும். இது ஆரஞ்சு-மஞ்சள் வண்ண நிறமாகும். இதனுடன் இணையாக ஆல்ஃபா கேரோடீனும் (∝ Carotene) காணப்படுகின்றது. கேரோடீன் வகை நிறமிகளில் கார்பன், ஹைடிரஜன் மட்டும் காணப்படுகின்றன. ஸேன்தோபில் வகை நிறமிகளில் கார்பன், ஹைடிரஜனோடு, ஆக்ஸிஜனும் காணப்படுகிறது. பெரும்பாலும் தாவரங்களில் மிகுதியாகக் காணப்படும் கரோடினாய்டுகள் ஸேன் தோபில்களேயாகும். ஸேன்தோபில்களும் பசுங்கணிகங்களில் காணப்படுகின்றன.

தாவரத்தோடு இணைந்த இலைகளில் நிகழ்த்திய பரிசோதனை களின் வாயிலாக, ஒளிச்சேர்க்கையின் மிகச் சிறிய செயல் அலகு (The smallest unit of function in photosynthesis) 200விருந்து 300க்குட்பட்ட பச்சைய மூலக்கூறுகளாலான தொகுப்பெனக் கண்டனர்.

அண்மையில், உடலியல் ஆய்வுக்கென கண்டுபிடிக்கப்பட்ட திறமையான கருவிகளின் வாயிலாகப் பசுங்கணிகங்களைப்பற்றிய பல குறிப்புகள் தெளிவாயின.

செல்களிலிருந்து பிரித்தெடுக்கப்பட்ட பசுங்கணிகங்கள், ஒளிச் சேர்க்கையில் நடைபெறும் கிரியைகளுக்குத் (ஒளிக்கிரியை, இருள் கிரியை) தேவைப்பட்ட எல்லா நிறமிகளையும், நொதிகளையும் கொண்டிருக்கின்றன என அறிந்தனர்.

மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களைப்போலவே, பசுங்கணிகங்களில் காணப்படும் சவ்வுகளில் நொதிகள் அமைந்துள்ளன. அவை

எலெக்ட்ரான் மாற்றமென்னும் நிகழ்ச்சியில் பாஸ்பரீகரணத்தை நடத்துகின்றன. இதனால் ATP உண்டாகிறது. பசுங் கணிகங்களில் ஒளிக்கிரியையின்போது ATP உற்பத்தியாகிறது. மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களில் ஆக்ஸீகரணத்தின்போது ATP உண்டாகிறது. இதனால் இவ்விரண்டையும், முறையே ஒளி பாஸ்பரீகரணம் என்றும் ஆக்ஸீகரண பாஸ்பரீகரணம் என்றும் அழைப்பர்.

கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்தும் கிரியை, இருள் கிரியையாகும் (Dark reaction). இவற்றிற்கான நொதிகள் அனைத்தும் ஸ்ட்ரோமா என்னும் ஊடகப் பொருள் பகுதியில் காணப்படுகின்றன. (சவ்வுகளுடன் இணைந்த நொதிகள், ஸ்ட்ரோமா பகுதியில் கரைந்து காணப்படும் நொதிகள் என இரு வகைப்பட்ட நொதிகள் இருப்பதைக் காண்க. இவற்றின் செயலும், வேறுபடுவது குறிப்பிடத்தக்கது).

பசுங் கணிகங்களிலிருந்து பிரித்தெடுக்கப்பட்ட சவ்வுகளின் மிகச் சிறிய பகுதி ஒன்றைக் குவான்டோஸோம் (Quantosome) என்றழைக்கின்றனர்.

குவான்டோஸோம் (Quantosome)

இது சுமார் 180Å × 160Å பக்க அளவுகளையும், 100Å பருமனையும் கொண்டிருக்கிறது. உயிர்வேதியியலின் பிரித்தல் ஆய்வுப்படி, இந்தக் கூறுகள் முன்கண்ட ஒளிச் சேர்க்கையின் மிகச் சிறிய செயல் அலகுகள் எனக் கருதப்பட்டவையாக இருக்கும் என்பது ஒரு சிலரின் கோட்பாடு. ஆனால் இதைப்பற்றி ஐயப்பாடும் உண்டு.

ஆஸ்மியோஃபிலிக் நுண்துளிகள் (Osmiophilic droplets)

ஆஸ்மியோஃபிலிக் நுண்துளிகளைப்பற்றிய கருத்து இன்னும் நன்கு தெளிவாக்கப்படாத ஒன்றாக உள்ளது.

RNA (ரிபோநியூக்ளிக் அமிலம்)

ஸ்ட்ரோமா பகுதியான தளப்பொருளில் முக்கியமாக உள்ளது RNA எனப்படும் ரிபோநியூக்ளிக் அமிலமாகும். இவை சிறிய மணிகளைப்போல் தோன்றுகின்றன. சில ஸ்ட்ரோமா பகுதிகளில், சைடோபிளாசத்தில் காணப்படும் ரிபோஸோம்களை ஒத்த சிறிய மணிகள் காணப்படுகின்றன. ஆனால் இவை சைடோபிளாசத்தில் காணப்படும் ரிபோஸோம்களைவிடச் சிறியவை. இவற்றைப் பசுங்

கணிக ரிபோஸோம்கள் (Chloroplast Ribosomes) என்றழைக்கின்றனர். இவற்றில் RNA மிகுதியாகக் காணப்படுகிறது.

சில பசுங்கணிகங்களில், ரிபோஸோம்கள் தெளிவாகத் தெரிகின்றன. பல ரிபோஸோம்கள் ஒன்றுசேர்ந்து பாலிரிபோஸோம் (Polyribosome) என்ற கூட்டினை ஏற்படுத்துகின்றன. பின்னர், வெளிரிய இலைகள் பச்சையாகும். நிகழ்ச்சியின்போது, பசுங்கணிகங்களில் உண்டாகிக்கொண்டிருக்கும் சவ்வு அமைப்புக்களோடு, மேற்கண்ட பாலிரிபோஸோம்கள் சேர்ந்து காணப்படுகின்றன.

DNA (டிஆக்ஸிரிபோ நியூக்ளிக் அமிலம்)

பசுங்கணிகங்களிலும் DNA காணப்படுகிறது, நியூக்ளியஸ்ஸில்தான் DNA காணப்படுவதாக முன்னர் நினைத்திருந்தோம். ஆனால் இன்று அந்த நிலைமை மாறிவிட்டது.

பசுங் கணிகங்களில் காணப்படும் DNA, புரதம் தயாரித்தலில் பங்கு கொள்கின்றது என்பதைக் கதிரியக்க ஆய்வுகளின்மூலம் அறிந்தனர்.

பசுங்கணிகங்கள், சர்க்கரை, தரசம் போன்ற பொருள்களைத் தயாரிக்கின்றன என அறிவோம். இனி இத்துடன் புரதம் தயாரித்தலையும் சேர்த்தால் சுயேச்சையாக இருந்த ஒரு ஜீவி, பரிணாமத்தின்மூலம் பசுங்கணிகங்களாகியிருக்கலாம் என்று கூறத் தோன்றுமல்லவா? பசுங்கணிகம் எந்தப் பகுதியையும் சார்ந்து இயங்க வேண்டிய நிலைமையில்லை.

மேற்கண்ட சிறப்பு வினைகளைப்பற்றி சிந்திக்கையில் வல்லுநர் பலர் ஒருமித்த கருத்தினைத் தெரிவிக்கின்றனர். தாவரம் ஒன்றில் அமைந்தவை செல்கள். அந்தச் செல்களின் உள்ளே காணப்படும் மிகச் சிறிய கூறு பசுங்கணிகம். "ஒருகால் செல்களின் உள்ளே வாழும் கூட்டுயிரிகளிலிருந்து (Intracellular symbionts) இந்தப் பசுங்கணிகங்கள் பரிணமித்தனவா?" என்பதே அன்னாரின் ஐயப்பாடாகும். பசுங்கணிகங்கள் பெருகுவது எங்ஙனம்?

உயர் தாவரங்களில், ஆக்கு திசுக்களில் உள்ள பசுங்கணிகங்கள் எளிய அமைப்புடன் காணப்படுகின்றன. இவை பகுப்படைந்து புதிய கணிகங்கள் தோன்றுகின்றன.

ஆனால் ஆல்ஜி பாசிகளிலும், பெரணியின் கேமீடோபைட்டு களிலும் (Gametophytes of ferns), உயர் தாவரங்களில் பச்சை யாகும் வெளிர் இலைகளிலும், முதிர்ச்சியடைந்த, சிக்கலான பசுங் கணிகங்கள்கூட, துண்டித்தல் (Fission) மூலம் பகுப்படைகின்றன.

பாரம்பரிய இயலில் கண்ட உண்மைகளின்படி, பசுங் கணிகங் களின் உருவ அமைப்பு பராம்பரியமாக வருதல் குறிப்பிடத் தக்க தாகும்.

குரோமேடோஃபோர்கள் (Chromatophores)

ஒளிச் சேர்க்கை புரியும் பாக்டீரியாக்களில் நிறமிகளைக் கொண் டுள்ள பகுதிகள் குரோமேடோஃபோர்கள் (Chromatophores) என் றழைக்கப்படுகின்றன. குரோமேஷியம் (Chromatium) என்ற பாக்டீரியாவிலிருந்து இவை பிரித்தெடுக்கப்பட்டன. இவற்றைச் சுற்றி புரதத்தினால் ஆகிய கூடு காணப்படுகிறது. புரதத்தைச் சிதைத்து நிறமிகளைக் கரைத்தெடுக்கலாம். குரோமேடோஃபோர் களின் உறையாக சவ்வு புரதம் காணப்படும். இதனை அடுத்து உட் புறத்தில் லிபிடு அடுக்கு காணப்படும். இவ்விரண்டு அடுக்குகளின் இடையே, ஒரு மூலக் கூறு பருமனுக்கு நிறமிகளின் மூலக்கூறுகள் காணப்படுகின்றன. பசுங்கணிகங்களில் இருப்பதைப்போலவே, இங்கும், பச்சைய நிறமிகள் அடுக்கப்பட்டுள்ளன. அவற்றின் பார்பைரின் தலைப்பகுதி புரத அடுக்கைத் தொட்டுக்கொண்டும், ஃபைடால் பகுதி லிபிடு அடுக்கு வரை நீண்டும் அமைந்திருக் கின்றன.

நிறமிகளும், ஒளி ஈர்த்தலும்

நிறமிகள் என்ற உடனேயே அவை ஒளியை ஈர்க்கின்றன என்று நாம் அறிவோம். கோடையில் கருப்பு உடைகள் வெகு வேகமாக வெப்பமடைவதை அனைவரும் அறிவர். ஆனால் வெண்ணிற ஆடைகள் இங்ஙனம் வெப்பமடைவதில்லை. ஏனெனில் அவை ஒளியைப் பிரதிபலிக்கின்றன.

ஒளியனைத்தையும் ஈர்த்துக்கொள்ளும் பொருள் கருப்பாகத் தோன்றுவது இயல்பு. அவ்வாறே ஒளியனைத்தையும் பிரதிபலிக் கும் பொருள் வெண்மையாகத் தோன்றுவதும் இயல்பே.

ஒளியின் ஒரு பகுதியை மட்டும் ஈர்த்து மற்ற பகுதியைப் பிரதி பலிக்கும் பொருள்கள் பலநிறமுடையனவாகத் தோன்றுகின்றன ஏன்?

கட்புலனுகும் ஒளி வெண்மைநிறமாகத் தோன்றினுலும், ஒளிக் கற்றை ஒன்றை ஒரு முப்பட்டைக் கண்ணுடி வழியாகச் செலுத்தினுல், அக் கற்றை ஏழு வண்ணங்களாகப் பிரிகிறது. இந்த நிற மாலேயில் உள்ள ஒவ்வொரு நிற ஒளிக்கும், ஒரு குறிப்பிட்ட அலே நீளமும். ஒரு குறிப்பிட்ட சக்தியும் உண்டு. வயலட், கருநீலம், நீலம், பச்சை, மஞ்சள், ஆரஞ்சு, சிவப்பு முதலிய ஏழு நிறங்கள் நிறமாலேயில் காணப்படுகின்றன. இதே ஏழு நிறங்களேயுடைய வட்டமான தட்டை வேகமாகச் சுற்றும்போது, அந்தத் தட்டு வெண்மையாகக் காணப்படும்.

ஒளியைப்பற்றிய கோட்பாடுகள் 17-ம் நூற்ருண்டிலிருந்தே உருவாக்கப்பட்டு வருகின்றன.

கார்பஸ்குலர் கோட்பாட்டின்படி (Corpuscular Theory) ஒளி மிகத் தெளிவான பொருள்களே ஊடுருவிச் செல்கின்றது. அங்ஙனம் ஊடுருவிச் செல்ல முடியாத பொருள்களிலிருந்து ஒளி பிரதிபலிக்கப்படுகிறது. இக் கோட்பாட்டின்படி ஒளியின் அலகுகள் மிகச் சிறிய துகள்கள் எனக் கருதப்பட்டது.

ஆனுல் இந்தக் கோட்பாட்டை அடிப்படையாகக்கொண்டு, ஒளியின் பிரதிபிம்ப, திசை மாற்ற விதிகளே விளக்குதல் மிகவும் அரிது என கிரிஸ்டியன் ஹுய்ஜென்ஸ் (Christian Huygens) என்பவர் 1670-ல் குறிப்பிட்டார். மேற்கண்ட விதிகளே விளக்குவதற்கு அனுகூலமான தத்துவம் ஒளியின் அலேத் தத்துவமே எனக் கருதினுர்.

இறுதியில் மேக்ஸ்வெல் (Maxwell) என்பவர் நிகழ்த்திய ஆய்வின்மூலம், ஒளி அலே அலேயாக வியாபிக்கின்றது என்ற கோட்பாடு தெளிவாகியது. அவர், ஊசலாடும் மின் சுற்று ஒன்று, மின்காந்த அலேகளே வீசும் (Radiates electromagnetic waves) நிகழ்ச்சியைக் கண்டார். இந்த அலேகளின் வியாபித்தல் வேகம் செகண்டுக்கு 3×10^{10} சென்டிமீட்டர் எனக் கணக்கிட்டனர். ஒளியின் வியாபித்தல் வேகமும், மேற்கண்ட மின்காந்த அலேகளின் வியாபித்தல் வேகமும் ஒத்திருக்கின்றன. எனவே ஒளியை, மிகக் குறைந்த அலேநீளமுள்ள மின்காந்த அலேகளாகக் கருதுகின்றனர்.

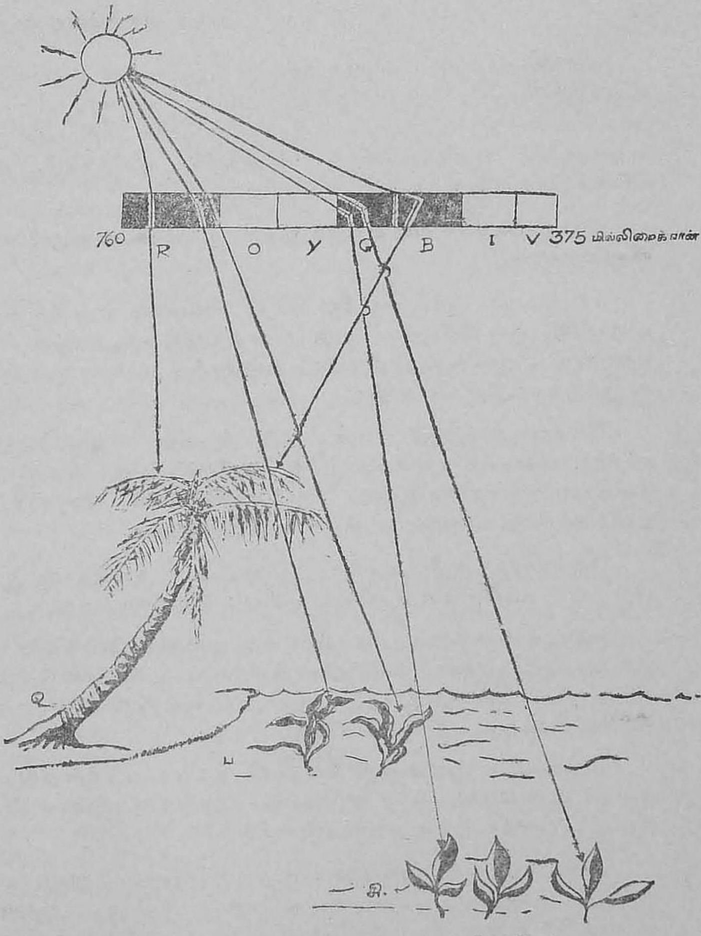
ஒளி அலேஅலேயாக வியாபிக்கின்றது என்ற கோட்பாட்டை ஏற்றுக்கொண்டால், பின்வரும் ஒளி சம்பந்தப்பட்ட நிகழ்ச்சிகளே விளக்குவது அரிதாகிறது. மின்கடத்தி ஒன்றின்மேல் ஒளிபட்ட

வுடன் அது எலெக்ட்ரான்களை வெளித் தள்ளுகின்றது. இங்ஙனம் அதின்மேல் படும் ஒளியின் அலை நீளங்களில் வேற்றுமை ஏற்படும் போது எலெக்ட்ரான்களின் இயங்கு சக்திகளிலும் வேற்றுமை ஏற்படுகிறது. அலை நீளம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவே இருக்குமானால் எலெக்ட்ரான்களின் சக்தியும் மாறுவதில்லை. ஒளியின் தீவிரமும், எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் நேர் விகிதத்தில் இருக்கின்றன.

எனவே ஈன்ஸ்டீன் (Einstein) என்பவர், ஒளிக்கற்றையின் சக்தி மிகச் சிறிய துணுக்குகளான ஃபோட்டான் (Photons) களில் பொதிந்திருக்கின்றன என்று கூறினர். இதனுல் அலைகளைப் பற்றிய கோட்பாடு சரியில்லை எனக் கொள்ள முடியாது. ஒளியின் வியாபகத்தை அலைமுறையிலும், ஒளியின் சக்தியைத் துணுக்குகளில் பொதிந்த முறையிலும் கொள்ள வேண்டும். ஒளி இரண்டு தன்மைகளையும் பெற்றிருத்தலால், அதனை அலை-அணுவென ஒன்ருக்க் கருதுவதே சிறந்தது. எனவே ஒளியின் வியாபகம் - மின் காந்த அலைகள் எனப்படும்; ஒளியின் மிகச் சிறிய அலகுகள் ஃபோட்டான்களாகும்.

தாவர வளர்ச்சியில் பங்குகொள்ளும் ஒளிப் பகுதி 390 மில்லி மைக்ரான் அலை நீளத்திலிருந்து 810 மில்லி மைக்ரான் அலைநீளம் வரையுள்ள பகுதியாகும். மின்காந்த நிறமாலையில் இந்த ஒளிப் பகுதி, இடைப்பட்ட மிகக் குறுகிய பகுதியாகும். அலைநீளம் குறையக் குறைய அதன் தீவிரமும் அதிகமாகிறது. 390 மில்லி மைக்ரான்களைவிடக் குறைந்த அலை நீள ஒளி, x-கதிர் (X-ray) காம்மா கதிர் (Gamma rays) போன்றவையாகும். இவை அதிகத் தீவிரம் உள்ளவை; மிகுந்த சக்திவாய்ந்த கிரியைகளைப் புரிய வல்லன. தற்போது உலகிலுள்ள எந்த உயிரியும், இந்தக் கதிர்களின் சக்தியை எதிர்த்து இயங்கும் திறமை பெற்றவையல்ல. அதிர்ஷ்டவசமாக இந்தக் கதிர்கள் பூமியின்மேல் படுவதில்லை.

பசுந் தாவரங்கள், 400 மில்லி மைக்ரான் ஒளிப் பகுதியையும், 600 மில்லி மைக்ரானுக்கு மேற்பட்ட ஒளிப் பகுதியையும் ஈர்க்கின்றன ஒளியை ஈர்த்தலால் பெரும் சக்தியை வேதியியல் சக்தியாக மாற்றும் நிகழ்ச்சியே நிறமிகளில் நடைபெறுகிறது.



படம் 6.5. ஒளி—உயர்தாவரம் - ஆல்ஜி பாசிகள்

V-R	= ஒளிநிற மாலை	G	= பச்சை நிறப் பகுதி
V	= வயலட் நிறப் பகுதி	Y	= மஞ்சள் நிறப் பகுதி
I	= இன்டிகோ நிறப் பகுதி	O	= ஆரஞ்சு நிறப் பகுதி
B	= நீல நிறப் பகுதி	R	= சிவப்பு நிறப் பகுதி

உ=உயர் தாவரங்கள் என அழைக்கப்படுபவை ஏன்ஜியோஸ்பேர்ம்களின் வகையைச் சேர்ந்தவை.

ப=பச்சைப் பாசிகள் குளோரோஃபைசி வகையைச் சேர்ந்தவை.

சி=சிவப்புப் பாசிகள் ரோடோஃபைசி வகையைச் சேர்ந்தவை·

உயர் தாவரங்கள் சிவப்பு, நீல நிற ஒளிப் பகுதிகளை மிகுதியாக ஈர்த்து ஒளிச் சேர்க்கையை நிகழ்த்துகின்றன.

பச்சைப் பாசிகள் (அல்லது) பசும் பாசிகள் சிவப்பு நிற ஒளிப் பகுதியை மிகுதியாக ஈர்க்கின்றன.

சிவப்புப் பாசிகள் பச்சை நிற ஒளிப் பகுதியை ஈர்க்கின்றன.

ஒளியை ஈர்த்தல் என்னும் நிகழ்ச்சி நிறமிகளின் எல்லா மூலக் கூறுகளிலும் ஒரே நேரத்தில் நிகழ்வதில்லை. ஒளியை ஈர்த்தலில் பங்குகொள்ளும் மூலக்கூறு ஒன்றிலிருந்து ஒளிச் சக்தி, பல மூலக் கூறுகளுக்கு மாற்றப்படுகிறது. இறுதியில் ஒளிச்சக்தி, ஒளிக் கிரியை நிகழும் மூலக்கூறை அடைகிறது.

இறுதியில் சக்தியை ஏற்கும் நிறமி மூலக் கூறு எது? என்ற வினா எழலாம்.

ஈர்க்கப்பட்ட சூரிய ஒளியின் சக்தி, பச்சையம் a மூலக் கூறுக ளிடையே ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றிற்குக் கடத்தப்படலாம்; பச்சையம் b மூலக் கூறிலிருந்து, ஒளிச்சக்தி பச்சையம் a மூலக் கூறுக்குக் கடத்தப்படலாம்;

கேரோடினாய்டுகள் எனப்படும் நிறமிகள் ஒளிச்சக்தியை ஈர்த்து பச்சையம் a மூலக்கூறுக்கு அளிக்கின்றன. ஆல்ஜி பாசி களில் மட்டும் காணப்படும் ஃபைகோபிலின்கள் (Phycobilins) ஒளிச் சக்தியை பச்சையம் a-க்குக் கடத்துகின்றன.

மேற்கண்ட குறிப்புகளினால் பச்சையம் a நிறமிதான் இறுதி யில் ஒளிச் சக்தியை ஏற்கின்றது என்பது தெளிவாகிறது.

சூரிய ஒளிச்சக்தியை, ஒளிக்கிரியை என்னும் போக்கில் நடத் திச் செல்லும் திறன் பச்சையம் a நிறமிக்கே உரித்தானதென்பர். இந்த நிறமி காணப்படாத பசுந்தாவரம் ஆல்ஜி செல்லில் ஒளிக் கிரியை நிகழ்வதாகத் தெரியவில்லை.

ஈர்க்கப்பட்ட ஒளிச்சக்தி எங்ஙனம் கடத்தப்படுகின்றது என் பதைக் காண்போம். சக்தி ஊட்டப்பட்ட மூலக் கூறுகளைக் கிளர்த் தப்பட்ட மூலக்கூறுகள் என்கின்றனர்.

அணு ஒன்றின் அமைப்பைக் கவனிப்போம். அணுக்களில் இயங்கும் சக்தியைப் பெற்றவை எலெக்ட்ரான்களே. அணுவின் மையத்தில் உள்ள நியூட்ரான்களும், புரோட்டான்களும் நிலைத்த தன்மையை உடையன. இவை இரண்டுமே அணுவிற்கு எடையை அளிப்பன. புரோட்டான்கள் Protons) நேர்மின் சக்தியைப் பெற்றவை (Positive Charge). எலெக்ட்ரான்கள் (Electrons) எதிர்மின் சக்தியைப் பெற்றவை (Negative Charge).

அணுவின் எடையைக் குறைக்கவோ கூட்டவோ செய்யலாம். அதனால் அணுவின் வேதியியல் கிரியைகள் வேற்றுமை அடைவ தில்லை. ஆனால், அணுவின் மையத்தைச் சுற்றி சுழன்றுகொண் டிருக்கும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையில் வேற்றுமை ஏற்பட் டால், வேதியியல் கிரியைகள் வேற்றுமை அடைகின்றன. ஒருசில

நேரங்களில், எலெக்ட்ரான்கள், தத்தம் சுழல் அச்சுக்களிலிருந்து உயர எறியப்படுகின்றன. இதனைக் கிளர்த்தப்பட்ட நிலை (Excited Singlet State) என்றழைப்பர். இங்ஙனம் கிளர்த்தப்படுதலுக்கு முன்னிருந்த நிலையை (Ground or Singlet State) சிங்லெட் நிலை என்றழைப்பர். கிளர்த்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள், விரைவில் முன்னிருந்த நிலையை அடையும்போது, கிளர்த்தப்படுதலுக்குத் தேவைப்பட்ட ஒளிச்சக்தி, ஃப்ளூரஸன்ஸ் (Flourescence) என்ற ஒளிரும் நிகழ்ச்சியில் வெளிவிடப்படுகிறது.

ஓர் அணுவில் இரு எலெக்ட்ரான்கள் உண்டெனக் கொள்வோம். இவை ஒவ்வொன்றும் வெவ்வேறு சுழல் திசைகளில் சுழல்கின்றன. சில சமயங்களில் கிளர்த்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான்களின் சுழல் திசைகளும் மாற்றப்படலாம். இதனால் மேற்கண்ட இரு எலெக்ட்ரான்களும் ஒரே திசையில் சுழலவேண்டிய நிலை ஏற்படுகின்றது. இந்த நிலையிலுள்ள எலெக்ட்ரான் முன்னிருந்த நிலையை அடையுமுன் நடுவிலேயே பிடிபட்டுவிடுகிறது. இதற்கு டிரிப்லெட் நிலை (Triplet State) என்று பெயர். இதன் பின்னர், சுழல் திசை மாறி விடுகிறது. இறுதியில், கிளர்த்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான் பழைய சிங்லெட் நிலை (Singlet State) யை அடைகிறது. அப்போது கிளர்த்தப்படுதலுக்குத் தேவைப்பட்ட சக்தி ஃபாஸ்பாரெஸென்ஸ் (Phosphorescence) என்ற ஒளிரும் நிகழ்ச்சியில் வெளி வருகிறது. கிளர்த்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள், மேற்கண்ட நிகழ்ச்சிகளில், மிகக் குறுகிய காலத்தில் அந்நிலையை இழப்பதால். வெளிப்படும் சக்தி ஒளியாகி, வீணாகி விடுகிறது.

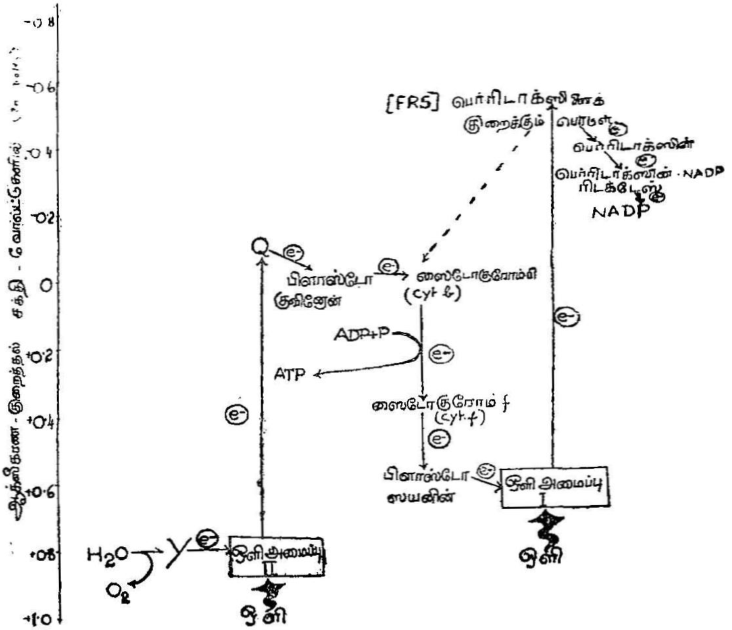
ஆனால், பசுங்கணிகங்களிலுள்ள நிறமிகள் ஒளியை ஈர்த்தலால் அங்குள்ள எலெக்ட்ரான்கள் கிளர்த்தப்படுகின்றன. இவை சிங்லெட் நிலைக்குத் திரும்புவதற்குள், இடையே பல எலெக்ட்ரான் கடத்திகள் வினைபுரிகின்றன. இவை படிப்படியாக எலெக்ட்ரானை ஏற்கின்றன. படிக்கட்டுகளில் இறங்குவதற்கு இதனை ஒப்பிடுங்கள். மேல் படிக்கட்டுகள் சக்தி மிகுந்த நிலையைக் குறிக்கின்றன. அவற்றை அடுத்தடுத்துள்ள கீழ்ப் படிக்கட்டுகள், சக்தி படிப்படியாகக் குறைந்த நிலையைக் காட்டுகின்றன. கடைசிப் படிக்கட்டை, சக்தியெல்லாம் இழந்த நிலைக்கு ஒப்பிடலாம். இங்ஙனம், கிளர்த்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான்களின் மாற்றத்தொடரே (Electron Transport Chain), ஒளிக்கிரியையின் முக்கிய அம்சமாகும்.

ஒளிக்கிரியை (Light Reaction)

நிறமிகள் ஒளியை ஈர்க்கின்றன. இந்த நிகழ்ச்சி இரு கிரியைகளாக நிகழ்கின்றது. இதனை ஒளி அமைப்பு I (PI) என்றும், ஒளி அமைப்பு II (PII) என்றும் கூறுவர்.

மேற்கண்ட அமைப்புகளில் பங்கேற்கும் நிறமிகளும் இரு வகைப் பட்டன என்றும் கருதுகின்றனர்.

ஒளிக்கிரியையின் போது நீர், ஃபோட்டோலிஸிஸ் (Photolysis) என்ற நிகழ்ச்சியில், ஹைடிரஜன் (H^+), ஹைடிராக்ஸில் (OH^-) அயனிகளாகப் பிரிக்கப்படுகின்றது என அறிந்தோம். ஆனால் இன்று PII என்ற அமைப்பில் நிகழும் ஒளிக்கிரியையில் ஒரு வலிவான ஆக்ஸீகரணி ஒன்று உண்டாக்கப்படுகின்றது.



படம் 6.6. ஒளிக்கிரியை

H_2O = நீர்
O_2 = ஆக்ஸிஜன்
Y = ஆக்ஸிகரணி
e - = எலெக்ட்ரான்
Q = குறைப்பான்
ADP = அடினேசின் டைஃபாஸ்ஃபேட்
P = ஃபாஸ்ஃபேட்
ATP = அடினேசின் ட்ரைஃபாஸ்ஃபேட்
FRS = பெர்ரிடாக்ஸினைக் குறைக்கும் பொருள் (Ferredoxin reducing substance)
ஒளி அமைப்பு II = குளோரோஃபில் a-ஐ தவிர, குளோரோ ஃகுளோரோஃபில் b-யின் ஒளி ஈர்த்தல் கிரியை
ஒளி அமைப்பு I = குளோரோஃபில் a-ன் ஒளி ஈர்த்தல் கிரியை.

இந்த ஆக்ஸீகரணியை Y^+ என்று அழைக்கின்றனர். இது நீரை, ஆக்ஸிஜனாகவும், வலியிழந்த குறைப்பான் ஒன்றாக (Weak Reducing Agent)வும் துண்டிக்கிறது. மேற்கண்ட வலியிழந்த குறைப்பானை (Q^-) என்றழைக்கின்றனர். Y^+, Q^- என்றவற்றின் வேதியியல் தன்மையை இன்னும் தெளிவாக அறியவில்லை.

PI என்ற அமைப்பில் நிகழும் ஒளிக்கிரியையின் முடிவில் ஒரு வலியிழந்த ஆக்ஸீகரணியான பிளாஸ்டோஸயனின்(Plastocyanln) என்ற பொருளும், ஒரு வலிவுள்ள, பெர்ரிடாக்ஸினைக் குறைக்கும் பொருள் எனப்படும் (Ferridoxin Reducing Substance) குறைப்பானும் உண்டாகின்றன. பெர்ரிடாக்ஸினைக் குறைக்கும் பொருளை, FRS என்றும் அழைப்பர். இந்தக் குறைப்பான், எலெக்ட்ரான்களை பெர்ரிடாக்ஸினுக்குக் கடத்துகின்றது. பெரிடாக்ஸினிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் இறுதியில் NADP ஐ அடைகின்றன. இதற்குப் பெர்ரிடாக்ஸின்-NADP-ரிடக்டேஸ்(Ferridoxin-Nadp-Reductase) என்ற நொதி ஊக்கியாகின்றது.

(படம் : 6.6-ல் கண்டபடி நீரிலிருந்து பிரிந்த எலெக்ட்ரான்கள் Y என்ற ஆக்ஸீகரணியின் வழியாக, PII ஒளிக்கிரியையில் ஈர்க்கப்பட்ட ஒளிச்சக்தியால், Q என்ற பொருளை அடைகின்றன. இங்கிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் பிளாஸ்டோகுவினோனை அடைகின்றன. பிளாஸ்டோகுவினோனிலிருந்து b பிரிவு ஸைடோகுரோமிற்கு எலெக்ட்ரான்கள் மாற்றப்படுகின்றன. b பிரிவு ஸைடோகுரோமிலிருந்து f பிரிவு ஸைடோகுரோமிற்கு இறங்கும் எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தின்போது வெளிவரும் சக்தி, ஒரு மூலக்கூறு ATP ஐ உற்பத்தி செய்வதற்குப் போதுமானதாகிறது. ஸைடோகுரோம் f-லிருந்து பிளாஸ்டோஸயனின் என்ற பொருளை, எலெக்ட்ரான்கள் அடைகின்றன. இதற்கு மேலும் எலெக்ட்ரான்கள் கடத்தப்பட வேண்டுமானால் PI என்ற ஒளி அமைப்பில், ஒளி ஈர்க்கப்பட வேண்டும். இதிலிருந்து பெரும் சக்தியை உபயோகித்து எலெக்ட்ரான்கள், வலிமிகுந்த குறைப்பானாகிய, FRS என்ற பொருளுக்குக் கடத்தப்படுகின்றன.

சில சமயங்களில் FRS பொருளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் ஃபெர்ரிடாக்ஸினைக் குறைப்பதற்குப் பதிலாக ஸைடோகுரோம் b, f, முதலியவற்றின் வழியாகப் பிளாஸ்டோஸயனினை அடைந்து, PI அமைப்பினைச் சுற்றி ஒரு சுழற்சி ஃபாஸ்பரீகரண நிகழ்ச்சியை உண்டுபண்ணுகிறது.

PI ஒளிக்கிரியையில் பங்குகொள்ளும் நிறமி பச்சையம் a வகையைச் சேர்ந்ததெனக் கருதப்படுகின்றது. இது 700 மில்லி

மைக்ரான் ஒளி அலையை ஈர்க்கிறது. எனவே இதனை P700 (நிறமி 700) என்றழைப்பர்.

PII ஒளிக்கிரியையில் பங்குகொள்ளும் பச்சை நிறமியைப் பற்றி இன்னும் தெளிவாக அறியவில்லை.

PI ஒளிக்கிரியையின் போதுதான் குறைத்தல் சக்தி (Reducing power) எனப்படும் $NADPH_2$ உண்டாகிறது. நீரைப் பிரித்தல் என்னும் நிகழ்ச்சி PII ஒளிக்கிரியையில் நிகழ்கின்றது. இதனால் ஆக்ஸிஜன் வெளியீடும் ஏற்படுகின்றது. எலெக்ட்ரான்கள் ஸைடோகுரோம் b யிலிருந்து ஸைடோகுரோம் f க்குக் குதிக்கும் போது ATP உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றது.

பசுங்கணிகத் துணுக்குகள் (Particle of Chloroplastids): நெதர்லாண்ட் (Netherlands) என்ற நாட்டின் வல்லுநரான டாக்டர் ஜே. எஸ்ஸி. வெஸல்ஸ் என்பவர், பசுங்கணிகங்களின் ஆய்வில் ஈடுபட்டவர். அன்னார் பசுங்கணிகங்களின் மிகச் சிறிய துணுக்குகள் கூட ஒளிக்கிரியை புரியும் தன்மையுடையனவா என ஆராய்ந்தார். பசுங்கணிகத்தினை டிஜிடோனின் (Digitonin) என்ற பொருளுடன் சேர்த்தார். இதனால் பசுங்கணிகம் துண்டிக் கப்பட்டு, 50லிருந்து 200 மில்லி மைக்ரான் அளவுள்ள மிகச் சிறிய குமிழிகள் (Vesicles) தோன்றின. இந்தக் குமிழிகளைச் சுற்றி 9 மில்லிமைக்ரான் குறுக்களவுள்ள, காம்புடைய உருண்டைகள் காணப்பட்டன. இந்தக் குமிழிகள் பசுங்கணிகத்தின் அடுக்குகள் (Lamellae) சுருக்கப்பட்டுத் தோன்றியவை. பசுங்கணிகத்தைப் போலவே, இவை $NADPH_2$ வையும், ATPஐயும், ஒளிக்கிரியையில் தயாரிக்கின்றன என்று கண்டுபிடித்தார். குமிழிகளைச் சுற்றிலும் உள்ள உருண்டைகள் ATP தயாரித்தலுக்குத் தேவையான பகுதிகள் எனவும் காட்டினர். மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களின் துணுக்குகளும் (Mitochondrial Particle) குமிழிகளைப் போல் காணப்படுவதோடு, அவற்றின் வெளிப்பகுதியிலும் காம்புடைய உருண்டைகள் காணப்படுவதை இங்கு நினைவு கூர்க. மேலும், இந்த உருண்டைகள் ATP தயாரித்தலுக்கு முக்கியமாகத் தேவைப்படுவனவாகும்.

ஒளிக்கிரியையின் பயனால் $NADPH_2$, ATP என்ற இரு பொருள்கள் உண்டாகிறது எனக் கண்டோம்.

அங்ககப் பொருள்கள், கார்பன், ஹைடிரஜன், ஆக்ஸிஜன் போன்ற மூன்று மூலகங்களை முக்கியமாகக் கொண்டிருக்கின்றன என்று அறிவோம். கார்பன் என்ற மூலகம் ஒன்றோடொன்று

சங்கிலித்தொடர்போல இணைந்து பல அங்ககப் பொருள்களைத் தோற்றுவிக்கலாம் என்றும் அறிவோம். கார்பன் பொருள்களின் இணக்கம் ஏற்படும் முறையை அறிய நாம் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்தல் என்னும் நிகழ்ச்சி எவ்வாறு நடைபெறுகின்றது என அறியவேண்டும். இந்த நிகழ்ச்சிக்கு முன்னோடிதான் ஒளிக்கிரியையாகும். அதில் இறுதியாகத் தயாரிக்கப்பட்ட பொருள்களே கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்த உதவுகின்றன. எனவே அங்ககப் பொருள்களைத் தோற்றுவித்தல் என்னும் சாதனை ஒளிச்சக்தி,பச்சைய நிறமிகள், நீர், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு முதலியவற்றால் நடைபெறுகிறது.

கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்தல் (Fixation of carbon-di-oxide) கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்தலில் நிகழ்த்திய சோதனைகளில் கதிரியக்கக் (Radioactive) கார்பன் மூலகங்களைக் கொண்டு நிகழ்த்தியவையே, பல குறிப்புகளைப் தெளிவாக்கின. முதன் முதல் உபயோகித்த கதிரியக்கக் கார்பன் மூலகம் C^{11} என்பதாகும். இது விரைவிலேயே தன் கதிரியக்கத் திறனை இழந்துவிடுகிறது. அதற்கு மாறாக C^{14} என்ற கதிரியக்கக் கார்பன் நீண்டகாலம் நிலைத்த இயக்கமுடையது. எனவே இதனையே பெரும்பாலும் உபயோகித்தனர்.

இத்தகைய ஆய்வுகளுக்கெல்லாம் முன்னோடியானவை ரூபென் (Ruben) என்பவர் நிகழ்த்தியவை யாகும். அவருடைய மறைவிற்குப் பின், பேராசியர்கள், எம். கால்வின் (M. Colvin), ஆன்ட்ரூ ஏ. பென்ஸென் (Andrew A. Bensen), பேஷாம் (Bassham), என்ற மூவரின் பரிசோதனைகளின் வாயிலாகக் கார்பன் நிலைப்படுத்தலை, இன்று, ஒரு கோர்வையான நிகழ்ச்சியாக அறிந்துள்ளோம்,

கால்வின் குழுவினர், கதிரியக்க C^{14}ஐ, $C^{14}O_2$ என்ற கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாக உபயோகித்தனர். ஒளிச்சேர்க்கைப் புரியும் தாவர மொன்றை, மூடிய அறையில் வைத்து அதற்குத் தேவையான கதிரியக்கக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை அளித்தனர். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரம் கழிந்தவுடன் அந்தத் தாவரத்திலுள்ள இலைகளை யகற்றி, அவற்றை ஆல்கஹாலில் தோய்த்தெடுத்தனர். இதனால் உயிர்வேதியியல் வினைகளெல்லாம் அப்போதே நிறுத்தப்பட்டன.

மேற்கண்ட பரிசோதனைகளில் குளோரெல்லா பைரினாய்டோஸா (Chlorella Pyrenoidosa) என்ற தாவரத்தையே பெரும்பாலும் உபயோகப்படுத்தினர். இவை ஒரு செல் தாவரங்களாகும்,

இவற்றைத் தொடர்ச்சியாக வளர்த்தல் எளிது. மேலும் இவை ஒரே சீரான நிலைத்த தன்மைகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. எனவே குறிப்பிட்டக் காலங்களில் பரிசோதனைகளை நிகழ்த்தல் எளிது.

ஆய்வுக்கென ஒரு செல் தொகுதியை எடுத்துக் கொண்டு, அவற்றை ஒளிபுகும் குடுவைகளில் அடைத்தனர். இந்தக் குடுவைகளுக்குள் முதலில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடைச் செலுத்தினர். பின்னர், கார்ப்ன்-டை-ஆக்ஸைடை நிறுத்திவிட்டு, கதிரியக்கக் கார்பனை கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு உருவில் செலுத்தாமல் பைகார்பனேட்டாகக் குடுவை நீரில் கரைத்தனர். பல்புகளின்மூலம் குடுவைக்குள் ஒளிபடும்படி செய்தனர். ஒருசில விநாடிகளில் ஆய்வுக்கென உபயோகித்த செல்களைக் கொன்றனர். கரையக் கூடிய கதிரியக்கப் பொருள்களை அவற்றிலிருந்து சாரமாகக் கரைத்தெடுத்தனர். இந்த சாரத்திலுள்ள பொருள்களைப் பிரித்துப் பார்த்ததில், C^{14} கதிரியக்கக் கார்பன் பல பொருள்களில் வியாபித்திருத்தலை அறிந்தனர்.

சர்க்கரைப் பொருள்களில் மட்டுமில்லாமல் அமினோ அமிலங்களிலும் கதிரியக்கக் கார்பன் காணப்பட்டது. பரிசோதனை நேரத்தை மென்மேலும் குறைத்து, எத்தகைய நிலைத்த, இடைப் பொருள் உண்டாகின்றது என ஆய்ந்தனர். இதன் பயனாக ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரிக் அமிலம் (Phosphoglyceric acid) ஒரு நிலைத்த தன்மையையுடைய இடைப்பொருள் என்று அறிந்தனர். ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் என்ற வுடனேயே, சர்க்கரை, தரசம் போன்ற கார்போஹைடிரேட்டுகளின் சிதைவு மாற்றங்களை நினைவு கூறவேண்டும்.

குளுகோஸ் போன்ற சர்க்கரை மூலக்கூறுகள் சிதைவுறும் போது இரண்டு ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்டிஹைஹடு மூலக்கூறுகள் தோன்றுகின்றன. இவை ஆக்ஸீகரணம் அடைந்து இரு ஃபாஸ்போகிளிஸரிக் அமில மூலக்கூறுகள் உற்பத்தியாகின்றன. சிதைவு மாற்றத்தில் ஃபாஸ்போகிளிஸரால்டிஹைஹடிலிருந்து ஃபாஸ்போகிளிஸரிக் அமிலம் உண்டாகிறது. ஆனால் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்தலில் முதலில் தோன்றுவது ஃபாஸ்போ கிளிஸரிக் அமிலம். இது குறைத்தல் அடைந்து ஃபாஸ்போ கிளிஸரால்டிஹைஹடு உண்டாகிறது. சிதைவு மாற்ற நிகழ்ச்சிகளை முன்னரே அறிந்திருந்ததால் பின்வரும் முடிவிற்கு வந்தனர். சிதைவு மாற்றங்கள் பின்னோக்கி நிகழ்ந்தால் அதுவே கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்தல் எனக் கருதினர்.

மேற்கண்ட ஃபாஸ்போ கிளிஸரிக் அமிலம் குறுகிய காலத்தில் உண்டாகும் இடைப்பொருள் என்று அறிந்தனர். பரிசோதனைக் காலத்தை மேலும் அதிகமாக்கி, ஒளிச்சேர்க்கை புரிந்த செல்களின் சாரத்தை ஆய்ந்ததில், பலதரப்பட்ட சர்க்கரைகள் உண்டாவதைக் கண்டுபிடித்தனர். இந்தச் சர்க்கரை வகைகள், ஏழு கார்பன்களைக் கொண்ட, ஸிடோஹெப்டுலோஸ் சர்க்கரை (Seven Carbon sugar-Sedoheptulose) ஐந்து கார்பன்களைக் கொண்ட ரிபுலோஸ், ரிபோஸ் சர்க்கரைகள் (Five carbon sugars like Ribulose and Ribose), நான்கு கார்பன்களைக் கொண்ட எரித்ரோஸ் சர்க்கரை (Four carbon Erythrose sugar) போன்றவையாகும்.

ஏ. ஜே. பி. மார்டின் (A. J. P. Martin) என்பவரும், ஆர். எல். எம். சிங்கே (R. L. M. Synge) என்பவரும், அமினோ அமிலக் கலவையைப்பிரித்தெடுக்கும் புதிய முறையினைக் கண்டுபிடித்தனர். அவர்கள் கண்டுபிடித்த முறை, ட்ஸ்வெட் (Tswett) என்பவர், நிறமிகளைப் பிரித்தெடுக்க உபயோகப்படுத்திய முறையை ஒத்திருந்ததால், அதற்கு அவர்கள் குரோமேடோகிராஃபி (Chromatography) என்று பெயரிட்டனர். வடிதாளின் இருபக்கக் காகிதத் குரோமேடோகிராஃபி (Two dimensional paper chromatography) என்கின்றனர்.

குரோமேடோகிராஃபி (Chromatography)

இந்த முறைப்படி ஒளிச்சேர்க்கை புரிந்த தாவரங்களில் உற்பத்தியான பொருள்களை ஆய்வதற்கு, முதலில் அத் தாவரத்தின் சாரத்தைத் தயாரிக்கவேண்டும். இதில் ஒரு துளியை வடிதாளின் ஒரு மூலையில் விடவேண்டும். இந்த மூலைக்கு அருகிலுள்ள தாளின் முனையை அங்ககக் கரைப்பான் (Organic Solvent) அடங்கியுள்ள ஒரு தொட்டியில் வைக்கவேண்டும். இந்தத் தாளை விறைப்பாக வைத்து, காற்றுப் புகாத ஒரு பெட்டியில் வைக்க வேண்டும். அந்தப் பெட்டி ஈரமானதாக இருத்தல்வேண்டும். வடிதாளின் மயிரிழைபோன்ற இடைவெளிகளின் வழியாக ஊடுருவிச் செல்லும் கரைப்பான் இந்தச் சாரத்திலுள்ள பொருள்களைக் கரைத்துக்கொண்டு செல்கிறது. சாரத்திலுள்ள சில பொருள்கள் நீரில் கரையும் தன்மையுடையனவாயிருக்கின்றன. சில பொருள்கள், கரைப்பான்களாகிய, ஃபீனால் (Phenol), ப்யூடனால் (Butanol), அஸிடிக் அமிலம் (Acetic acid) போன்றவற்றில் கரையக்கூடியவை. இதனால் நீரில் கரையக்கூடிய பொருள்களைவிட வேகமாகக் காகிதத்தில் முன்னேக்கிச் செல்கின்றன. நீரில் கரையக்கூடியவை பின்னிட்டு விடுகின்றன. எனவே இந்த இரு வகைப் பொருள்களும் பிரிந்து சிறுசிறு குழுக்களாகக் காணப்படுகின்றன.

மேற்கண்ட முறையை மறுபடியும் உபயோகித்து, கரைப்பான்களை மாற்றி, தாளின் பக்கத்தையும் 90 டிகிரிக்குத் திருப்ப வேண்டும். முதன் முறையில் பிரிக்கப்படாத பொருள்கள் இரண்டாம் முறை தனித்தனியாகப் பிரிகின்றன. ஏனெனில் இரண்டாம் முறை உபயோகித்த கரைப்பானின் போக்கு முதன் முறையின் போக்கிற்குச் செங்குத்தாக அமைகிறது. கரைப்பான்கள் காகிதத்தின் மறுமுனையை அடைந்தவுடன், அந்தத் தாள்களை எடுத்து உலர்த்த வேண்டும். பிறகு நின்ஹைட்ரின் (Nin hydrin) என்ற திரவத்தைத் தூவவேண்டும்.

படம் இல், மேலே கண்டபடி, சர்க்கரை ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளும், ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலமும், அஸ்பார்டிக் அமிலம், மாலிக் அமிலம், அலனைன் முதலியவையும் சேர்ந்த கலவையைப் பிரித்திருத்தலைக் காண்க.

குரோமேடோகிராஃபியின் மூலம் புதிய கலவையிலுள்ள பொருள்களைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு, தெரிந்த பொருள்களடங்கிய கலவையை குரோமேடோ கிராஃபி முறைப்படி பிரித்தல் வேண்டும். பின்னர் அங்கு கண்ட பொருள்கள் ஏற்படுத்தும் குறிப்பிட்ட நிறமும் அமைப்பும் உடைய புள்ளிகளின் படம் ஒன்றைத் தயாரித்து, அதனை மேற்கண்ட புதிய குரோமேடோகிராஃபித் தாளுடன் ஒப்பிடவேண்டும்.

ரேடியோ ஆட்டோகிராஃப் (Radio autogroph)

குளோரெல்லா தாவரத்தின் ஆய்வில் கதிரியக்கக் கார்பனை உபயோகித்தனர். ஒளிச் சேர்க்கை புரிந்த செல்களின் சாரத்திலுள்ள பொருள்களில் கதிரியக்கக் கார்பன் காணப்படுவதை அறிய முன்கண்ட குரோமேடோகிராஃபி முறையைப் பின்பற்றவேண்டும். குரோமேடோகிராஃபித் தாளை உணர்வூட்டிய புகைப்படப் பிரதி ஒன்றின்மேல் வைத்தால், அது கதிரியக்கப் பொருள்களடங்கிய புள்ளிகளின்மேல் படும்போது, புகைப்படம் அப் பகுதிகளை வெளிப்படுத்துகின்றது. இதனால் கதிரியக்கக் கார்பன் காணப்படும் பொருள்களை அறியலாம். பேஷாம் அவர்கள் நிகழ்த்திய பரிசோதனையில், குளோரெல்லாவின் சாரத்தை முதலில் குரோமேடோ கிராஃபி முறைப்படி பிரித்துப் பின்னர் அதனை ரேடியோ ஆட்டோகிராஃப் ஆகப் பிரதி எடுத்தார். அவர் உபயோகித்தக் கதிரியக்க $C^{14}O_2$ எனப்படும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு, பத்து செகண்டு காலப்பொழுதில், சர்க்கரைகளில் மட்டுமில்லாமல், அமினோ அமிலங்களிலும் காணப்படுவதை அறிந்தார்.

இதனால் ஒளிச்சேர்க்கை என்னும் வளர் மாற்றத்தில் நிகழும் கார்பன் நிலைப்படுத்தலில், சர்க்கரையும், அமினோ அமிலங்களும் தயாராவதை அறிந்தனர். கொழுப்புச் சத்துக்களும் உற்பத்தி செய்யப்படுவதாகக் கருதப்படுகின்றது.

குரோமேடோகிராஃபி முறையைக்கொண்டே கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் நிலைப்படுத்தலில் நிகழும் வேதியியல் மாற்றங்களையும், இடைப் பொருள்களையும், முடிவுப்பொருள்களையும் ஆய்ந்தறிந்தனர். இதற்குக் கதிரியக்கக் கார்பன் அச்சாணியாக அமைந்தது என்று சொன்னால் மிகையாகாது.

இன்று நாம் அறிந்துள்ள கால்வின் சுழற்சியின் வேதியியல் மாற்றங்கள் மேற் கண்டவற்றின் பயனே ஆகும் எனலாம்.

கால்வின் சுழற்சி

கார்பன் நிலைப்பாட்டின் கிரியைகளைக் கால்வின் குழுவினர் ஆய்ந்ததால், அதற்குக் கால்வின் சுழற்சி என்று பெயரிட்டனர்.

கார்பன் நிலைப்பாடு (Fixation of Carbon)

கார்பன் நிலைப்படுத்தலில், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு உருவிலுள்ள கார்பன், தாவரத்தில் ஒரு அங்ககப் பொருளோடு சேர்கின்றது. இந்த நிகழ்ச்சியைக் கார்பன் நிலைப்பாடு அல்லது கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் நிலைப்பாடு என அழைக்கின்றனர்.

தாவரத்திலுள்ள கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை ஏற்கும் அங்ககப் பொருள், ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்பேட்டாகும். ரிபுலோஸ், ரிபோஸ் (Ribose), ஸைலுலோஸ் (Xylulose) என்ற மூன்று பொருள்களும் 5 கார்பன்கள் கொண்ட சர்க்கரைகளாகும். ரிபோஸ், ஸைலுலோஸ் பொருள்கள், ரிபுலோஸாகத் திரியும் தன்மை வாய்ந்தவை. எபிமெரேஸ் (Epimerase) என்ற நொதி, ஸைலுலோஸை ரிபுலோஸாக மாற்றுகின்றது. ஐஸோமெரேஸ் (Isomerase) என்ற நொதி ரிபோஸை ரிபுலோஸாக மாற்றும். இதனால் இவை மூன்றும் உருவ அம்சங்களில் ஒத்திருக்கின்றன என்று தெரிகிறது.

கிரியை 1

ரிபுலோஸ்மோனோஃ ஃபாஸ்ஃபேட் சர்க்கரை, ரிபுலோஸ் சர்க்கரையுடன் ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறு இணக்கம் கொண்ட நிலையினைக் குறிக்கும். இது மற்றுமொரு ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக் கூறை ஏற்கிறது. இந்த நிகழ்ச்சிக்குச் சக்தி தேவை. ATP-யின் நீர் இணைத்தல் (Hydrolysis of ATP) நிகழ்ச்சியில் சக்தி வெளிப்படுகிறது. ATP-யின் மூன்ருவது ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறு விடுபட்டு, ரிபு

லோஸ் மோனோ ஃபாஸ்பேட்டுடன் இணைகிறது. இதனால் ரிபு லோஸ்டைஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறு தோன்றுகிறது. இதற்கு ஊக்கியான நொதி பென்டோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட் கைனேஸ் (Pentose phosphate kinase) ஆகும். இதுவே கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு நிலைப்படுத்தலில் முதல் கிரியை. இதில் பங்குகொள்ளும் ATP ஒளிக்கிரியையில் உற்பத்தியாகிறது என அறிவோம்.

கி. 1. ரிபுலோஸ் மோனோஃபாஸ்ஃபேட் + ATP

பென்டோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட் கைனேஸ்
———————————————
ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட் + ADP

கிரியை 2

ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்பேட்டுடன் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு இணைதலே இரண்டாவது கிரியையாகும். கார்பன்-டை-ஆக்ஸை டில் ஒரு கார்பன் இருப்பதால், அது 5 கார்பன்கள் கொண்ட ரிபு லோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட்டுடன் இணைந்து, 6 கார்பன்கள் கொண்ட ஒரு கூட்டுப் பொருளை உற்பத்தி செய்கின்றது. இது ஆல்ஃபா ஹைடிராக்ஸி-பீடா-கீடோ அமிலம் (α-Hydroxy B-keto acid) எனப்படும். இந்த நிகழ்ச்சிக்கு ஊக்கியான நொதியைக் கார்பாக்ஸி டிஸ்முடேஸ் என்றழைப்பர்.

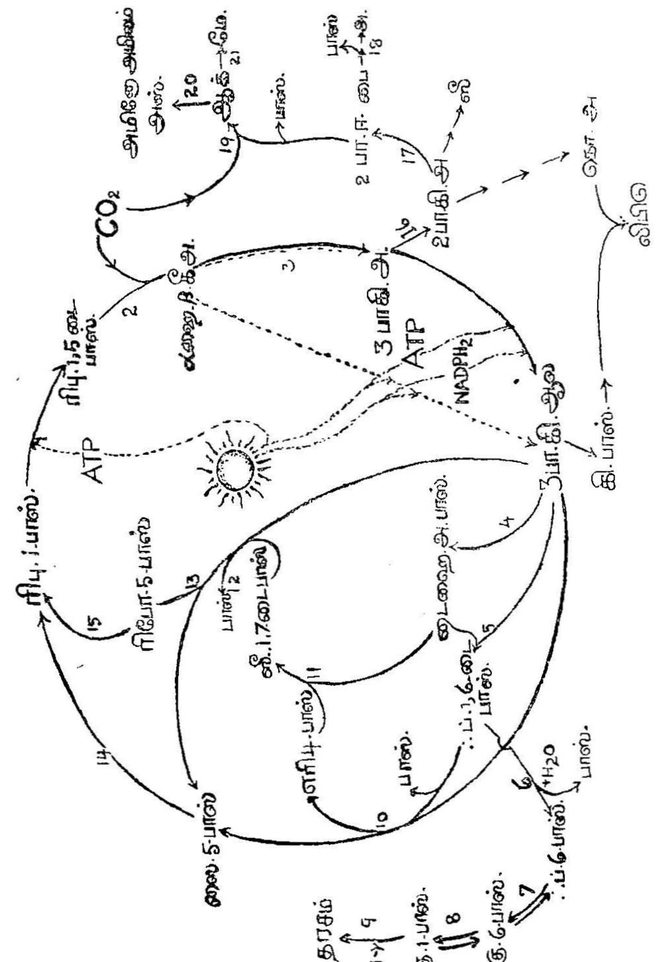
கி.2. ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட் + Co_2

கார்பாக்ஸி டிஸ்முடேஸ் (Carboxy dismutase)
———————————————
ஆல்ஃபா-ஹைடிராக்ஸி-பீடா-கீடோ அமிலம்.

கிரியை 3

மேற்கண்ட கூட்டுப் பொருள், இந்தக் கிரியையின்போது' இரண்டாகப் பிரிந்து, இரு ஃபாஸ்போ கிளிஸரிக் அமில மூலக் கூறுகளைத் தோற்றுவிப்பதாக முன்னர் கருதப்பட்டது. இந்த ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலக் கூறுகள் குறைத்தல் அடைந்து ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்டிஹைடு மூலக் கூறுகளாகின்றன. இதற்குத் தன்மயமாக்கும் சக்தி (Assimilating Power) எனப்படும் $NADPH_2$-வும், ATP-யும் தேவை.

ஆனால் α-ஹைடிராக்ஸி B-கீடோ அமிலத்திலிருந்து நேர்முக மான மாற்றங்களினால் ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடு உண்டா கிறது என அண்மையில் ஒரு கோட்பாடு உருவாகியுள்ளது. படம் 6.7-இல் இது ஒரு விடுபட்ட அம்புக் குறியால் காட்டப்பட் டுள்ளது.



படம் 6.7. கால்வின் சுற்று

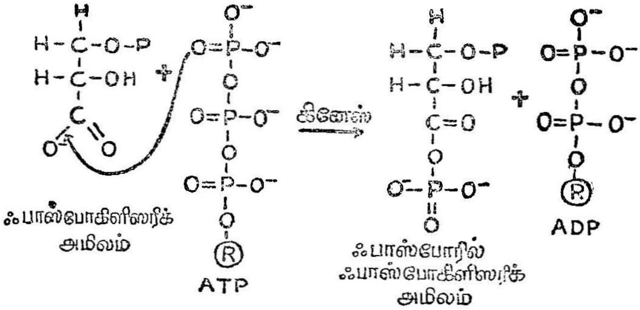
ரிபு. 1. பாஸ் = ரிபுலோஸ் 1—ஃபாஸ்ஃபேட்டு
ரிபு. 1,5 டைபாஸ் = ரிபுலோஸ் 1,5—டைஃபாஸ்ஃபேட்டு
CO_2 = கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு
அஸ். = அஸ்பார்டேட் (அமினோ அமிலம்)
ஆக். = ஆக்ஸலோ அஸிடேட் (டைகார்பாக்ஸில் அமிலம்)
மே. = மேலேட்
பாஸ். = ஃபாஸ்ஃபேட்டு
α ஹை. B. கீ. அ. = ஆல்ஃபா ஹைடிராக்ஸி பீடா கீடோ அமிலம்.
3 பா. கி. அ. = 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அல்லது 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட் என்றும் குறிப்பிடலாம்.
2 பா. கி. அ. = 2 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்
3 பா. கி. ஆல் = 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடு
கி. பாஸ் = கிளிஸரால் ஃபாஸ்ஃபேட்டு
கொ. அ. = கொழுப்பு அமிலம்
2 பா. ஈ. பை. = 2 ஃபாஸ்ஃபோ ஈனால் பைருவிக் அமிலம்
அ. அலனைன்
ATP = அடினோசின் ட்ரை ஃபாஸ்ஃபேட்டு
$NADPH_2$ = குறைத்தல் அடைந்துள்ள நிகோடினமைட் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் ஃபாஸ்ஃபேட்
டை. ஹை. அ. பாஸ் = டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டு
ஃப். 1, 6. டைபாஸ் = ஃப்ரக்டோஸ் 1,6 டைஃபாஸ்ஃபேட்டு
எரி. 4. பாஸ் = எரித்ரோஸ் 4 ஃபாஸ்பேட்டு
ஸி. 1.7 டைபாஸ் = ஸிடோ ஹெப்டுலோஸ் 1,7 டைஃபாஸ்ஃபேட்டு
ரிபோ. 5 பாஸ் = ரிபோஸ் 5 ஃபாஸ்ஃபேட்டு
ஸை. 5 பாஸ் = ஸைலுலோஸ் 5 பாஸ்ஃபேட்டு
ஃப். 6 பாஸ் = ஃப்ரக்டோஸ் 6 ஃபாஸ்ஃபேட்டு
கு. 6. பாஸ் = குளுகோஸ் 6 ஃபாஸ்ஃபேட்டு
கு. 1. பாஸ் = குளுகோஸ் 1 ஃபாஸ்ஃபேட்டு
ஏ. = ஏற்பான் (பல குளுகோஸ் மூலக் கூறுகளைக் கொண்டது).

1. பென்டோஸ் ஃபாஸ்பேட் கைனேஸ் கிரியை
2. கார்பாக்ஸி டிஸ்ம்யுடேஸ் கிரியை
3. நீரால் பகுப்பும், பா. கி. அமிலத்தைக் குறைத்தலும்
4. ஐஸோமரேஸ் கிரியை
5. ஆல்டோலேஸ் கிரியை
6. ஃபாஸ்படேஸ் கிரியை
7. ஐஸோமிரேஸ் கிரியை
8. ஹெக்ஸோஸ் ஃபாஸ்போ ம்யூடேஸ் கிரியை
9. ரசத்தைக் கட்டுதல்
10. டிரான்ஸ்கிடோலேஸ் கிரியை
11. ஆல்டோலேஸ் கிரியை
12. ஃபாஸ்ஃப்டேஸ் கிரியை
13. டிரான்ஸ் கீடோலேஸ் கிரியை
14. எபிமெரேஸ் கிரியை
15. ஐஸோமிரேஸ் கிரியை
16. கிளிஸரோ ம்யூடேஸ் கிரியை
17. ஈனொலேஸ் கிரியை
18. பைருவேட்டின் அமினிகரணத்தினால் அலனைன் உற்பத்தியாதல்
19. ஃபாஸ்போ பைருவேட் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை ஏற்று ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டை உற்பத்தி செய்தல்
20. மாற்று அமினீகரணம்
21. மேலேட் டீஹைடிரோஜினேஸ் கிரியை

பழைய கோட்பாடின்படி ஃபாஸ்போ கிளிஸரிக் அமிலம் ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்டிஹைடாக மாறும் வேதியியல் மாற்றங் களைக் காண்போம்.

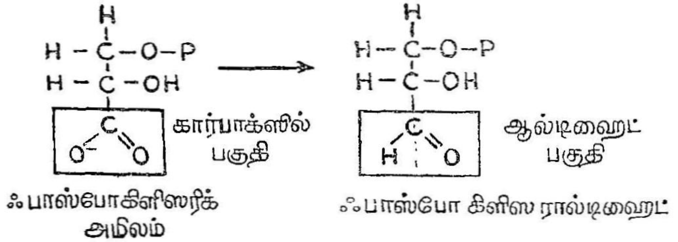
ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலத்துடன் ATP வினைபுரிகிறது. ATP மூலக் கூறிலுள்ள மூன்றுவது ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறு ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலத்தின், கார்பாக்ஸில் கார்பனுடன் இணைகிறது. ATP இதனால் ADP மூலக் கூருகிறது. ATP-யின் இந்த நீர் இணைத்தல் நிகழ்ச்சியில் சக்தி வெளிப்படுகின்றது. இங்ஙனம் வெளிப்படும் சக்தி மேற்கண்ட வேதியியல் மாற்றத்தில் ஃபாஸ்போரில் பி.ஜி.ஏ. (Phosphoryl PGA) மூலக்கூறு உற்பத்தி செய்ய உதவுகிறது.

பி.ஜி.ஏ. எனப்படும் ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம், இந்த பாஸ்பரீகரண நிகழ்ச்சியால், மிகுந்த சக்திவாய்ந்த ஃபாஸ்போரில் பாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலமாகிறது.

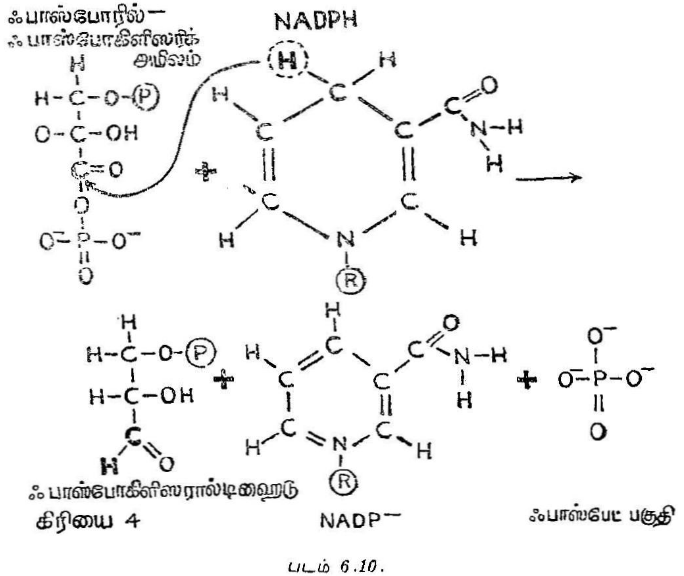


படம் 6.8.

ஃபாஸ்போரில் ஃபாஸ்போ கிளிஸரிக் அமிலம், $NADPH_2$-ஆல் குறைத்தல் அடைகிறது. NADPH-லிருந்து ஒரு ஹைடிரஜன் ஃபாஸ்போரில் பாஸ்போ கிளிஸரிக் அமிலத்திலுள்ள கார்பாக்ஸில் பகுதிக்கு மாற்றப்படுகிறது அங்குள்ள பாஸ்ஃபேட் பகுதி விலகு கின்றது. அத்துடன் ஆக்ஸிஜன் அணு ஒன்றும் அகற்றப்படு கிறது. இதனால் முன்னிருந்த கார்பாக்ஸில் பகுதி, ஆல்டிஹைட் பகுதியாகின்றது.



படம் 6.9.



படம் 6.10.

கிரியை 4

ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைட், டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டாகிறது (Dihydroxy acetone phosphate). இதற்கு ஃபாஸ்ஃபோ டிரையோஸ் ஐஸோமிரேஸ் (Phospho triose Isomerase) என்ற நொதி ஊக்கியாகின்றது.

ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடும், டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டும், டிரையோஸ் (Triose) எனப்படும் மூன்று

கார்பன்கள் கொண்ட சர்க்கரை வகைகள். இவை, ஒன்று மற்ருென்ருக எளிதில் மாறக்கூடிய தன்மை வாய்ந்தவை என்றும், பெரும்பாலும் ஃபாஸ்போ கிளிஸரால் டிஹைடு, டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்பேட்டிலிருந்து தோன்றுகிறது.

ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரால்டிஹைடு —ஐஸோமிரேஸ்→ டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டு

கிரியை 5

எனவே முன்கண்ட கிரியையில் இரு டிரையோஸ் மூலக்கூறுகள் உண்டாகின்றன.

இந்த இரு மூலக்கூறுகள் ஆல்டொலேஸ் என்ற நொதியின் செயலால் ஒன்ருகச் சேர்ந்து சர்க்கரை மூலக்கூருன ஃப்ரக்டோஸ் 1.6. டைஃபாஸ்ஃபேட் உண்டாகின்றது.

கிளைகாலிஸிஸ் என்ற நிகழ்ச்சியில் ஃப்ரக்டோஸ் 1.6 டைஃபாஸ்ஃபேட் என்ற மூலக்கூறு ஆல்டொலேஸ் என்ற நொதியால் இரு டிரையோஸ்ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக் கூறுகளாகப் பிரிகிறது.

இதனுல் ஒளிச்சேர்க்கையின் வேதியியல் கிரியைகள் கிளைகாலிஸிஸ் அல்லது சிதைமாற்றங்களின் தலைகீழான நிகழ்ச்சியென்பது தெளிவாகிறதல்லவா !

ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடு + டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டு —ஆல்டொலேஸ்→ ஃப்ரக்டோஸ் 1.6 டைஃபாஸ்ஃபேட்டு

கிரியை 6

இனித் தொடரும் வேதியியல் மாற்றங்களில் ஃப்ரக்டோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறு பலவாருகத் திரிந்து, இறுதியில் பென்டோஸ் சர்க்கரைகளை உண்டுபண்ணுகிறது. இந்த மாற்றங்கள் கால்வின் சுழற்சியின் மையமாகும். இவற்றிலிருந்து (படம் 6.7) கிளைக்கும் வேதியியல் மாற்றங்களில், ஃப்ரக்டோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட்டு முதலில், தன்னுடைய இரண்டு ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறுகளில் ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறை இழந்துவிடுகிறது. இதற்கு ஃபாஸ்ஃபடேஸ் என்ற நொதி உதவுகின்றது.

ஃப்ரக்டோஸ் டைஃபாஸ்பேட்டு + நீர் —ஃபாஸ்ஃபடேஸ்→ ஃப்ரக்டோஸ் -- மோனேஃபாஸ்ஃபேட்டு

கிரியை 7

ஃப்ரக்டோஸ் மோனேஃபாஸ்ஃபேட்டை, ஃப்ரக்டோஸ் 6. ஃபாஸ்ஃபேட்டு (Fructose 6. phosphate) என்று குறிப்பிடுகின்றனர். ஃப்ரக்டோஸ் - 6 - ஃபாஸ்ஃபேட்டு, குளுகோஸ் - 6 - ஃபாஸ்பேட்டாகிறது. இதற்கு ஹெக்ஸோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட் ஐஸோமிரேஸ் ஊக்கியாகின்றது.

ஐஸோமிரேஸ்
ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டு ⇄ குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்

கிரியை 8

குளுகோஸ் மூலக்கூறில் 6-வது கார்பனில் இணைந்த ஃபாஸ்பேட்டு பகுதி, ஃபாஸ்ஃபோ குளுகோ ம்யூடேஸ் (Phospho [gluco mutase) என்ற நொதியால், குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட்டாகிறது.

ம்யூடேஸ்
குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டு ⇄ குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட்டு

கிரியை 9

பல குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறுகள் ஒரு ஏற்பானுடன் சேர்கின்றன. இந்த ஏற்பான் 20 குளுகோஸ் மூலக்கூறுகளைக் கொண்டதாகும். இந்த வேதியியல் மாற்றத்தின் முடிவில் தோன்றுவது அமைலோஸ் (Amylose). அமைலோஸ் தரசத்தில் காணப்படும் பொருளாகும். இந்தக் கிரியைக்கு ஊக்கியாவது தரச ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ் ஆகும்.

தரசஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ்
பல குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட்கள் + ஏற்பான் ⇄ அமைலோஸ் + பல ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள்

எனவே இந்தக் கிரியையினால் தரசம் உற்பத்தியாகின்றது. சுக்ரோஸ் போன்ற இரு சர்க்கரை மூலக்கூறுகள் குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட்டின் வேதியியல் மாற்றங்களில் உற்பத்தியாகலாம்.

இந்த மாற்றங்கள் அனைத்தும் கால்வின் சுழற்சியின் கிளை மாற்றங்களே.

இனி, ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறு கால்வின் சுழற்சியில் அடையும் மாற்றங்களென்னவென்று காண்போம்.

கிரியை 10

ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டு ஒரு மூலக்கூறு கிளிஸரால் டிஹைட் ஃபாஸ்ஃபேட்டுடன் வினைபுரிகிறது. இங்கு டிரான்ஸ் கீடோலேஸ் என்ற நொதி கிளைகால் ஆல்டிஹைடு தொகுதி ஒன்றை ஒரு கீடோஸ் சர்க்கரையிலிருந்து ஆல்டோஸ் சர்க்கரைக்கு மாற்றுகிறது. இந்த மாற்றத்தின் முடிவில் எரித்ரோஸ்-4-ஃபாஸ்ஃபேட்டும் (Erythrose-4-phospate), ஸைலுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டும் (Xylulose-5-phosphate) உண்டாகின்றன.

ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டு + 3-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடு

டிரான்ஸ் கீடோலேஸ்
————————→ ஸைலுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டு + எரித்ரோஸ்-4-ஃபாஸ்ஃபேட்டு

கிரியை 11

ஆல்டோலேஸ் என்ற நொதி, எரித்ரோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டை, டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டுடன் இணைத்து, 7 கார்பன் கொண்ட, ஸீடோஹெப்டுலோஸ்-1-7-டைஃபாஸ் ஃபேட்டு என்ற இரு ஃபாஸ்ஃபேட்டு பகுதிகளைக் கொண்ட சர்க்கரையை உண்டுபண்ணுகிறது.

எரித்ரோஸ்-4-ஃபாஸ்ஃபேட்டு + டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன்

ஆல்டோலேஸ்
ஃபாஸ்ஃபேட்டு ————————→ ஸீடோஹெப்டுலோஸ் 1-7-டைஃபாஸ்ஃபேட்டு (Setoheptulose-1-7-disphosphate).

கிரியை 12

ஸீடோஹெப்டுலோஸ்-1-7-டைஃபாஸ்ஃபேட்டு என்ற சர்க்கரை, இரு ஃபாஸ்ஃபேட்டை இழக்கிறது. இதற்கு ஊக்கியான நொதி ஃபாஸ்பஃடேஸ் ஆகும்.

ஃபாஸ்ஃபடேஸ்
ஸீடோஹெப்டுலோஸ்-1-7-டைஃபாஸ்ஃபேட்டு + நீர் ————————→
ஸீடோஹெப்டுலோஸ்-7-ஃபாஸ்ஃபேட்+ ஃபாஸ்ஃபேட்டு

கிரியை 13

ஸீடோஹெப்டுலோஸ்-7-ஃபாஸ்ஃபேட்டு, இதன் பின்னர், கிளிஸரால்டிஹைட் ஃபாஸ்ஃபேட்டுடன் வினைபுரிகிறது. இங்கு மற்றொரு டிரான்ஸ்கிடோலேஸ் (Transketolase) என்ற நொதி

துணையாகிறது. இந்த வேதியியல் மாற்றத்தின் முடிவில் இரு பென்டோஸ் எனப்படும் 5 கார்பன்கள் கொண்ட மூலக்கூறுகள் உண்டாகின்றன.

ஸீடோஹெப்டுலோஸ்-7-ஃபாஸ்ஃபேட்டு + கிளிஸரால்டிஹைடு

டிரான்ஸ்கீடோலேஸ்
ஃபாஸ்ஃபேட்டு ⟶ ஸைலுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டு + ரிபோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டு

கிரியை 14

எபிமிரேஸ் (Epimerase) என்ற நொதி, ஸைலுலோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டுக்களை, ரிபுலோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டுக்களாக மாற்றுகிறது. கிரியை 10-ல் ஒரு ஸைலுலோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டும், கிரியை 13-ல் ஒரு ஸைலுலோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டும் உண்டாகிறது எனக் கண்டோம். கிரியை 14-ல் இந்த ஸைலுலோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டுக்கள் ரிபுலோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்களாகின்றன.

எபிமிரேஸ்
ஸைலுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டு ⟶ ரிபுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டு

கிரியை 15

கிரியை 13-ல் உண்டான ரிபோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டு ஐஸோமிரேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் ரிபுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டு உண்டாகிறது.

ஐஸோமிரேஸ்
ரிபோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டு ⇌ ரிபுலோஸ்-5-ஃபாஸ்ஃபேட்டு

கிரியை 1-ல் ரிபுலோஸ்-மோனோ-ஃபாஸ்ஃபேட்டு, ATP யுடன் வினைபுரிவதாகக் கண்டோம். எனவே, கிரியை 15-ன் முடிவே கால்வின் சுழற்சியின் முடிவாகும்.

சுழல், சுழற்சி, வட்டம் முதலியவற்றிற்கு முடிவில்லை. அவற்றைப் போலவே கால்வின் சுழற்சியும் முடிவடைவதில்லை. சுழற்சியின் துவக்கத்தில் கிரியை புரிந்த ரிபுலோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறுகள் பல வேதியியல் மாற்றங்களுக்குப் பின்னர் மறுபடியும் தோன்றுகின்றன. இவற்றின் எண்ணிக்கை மூன்று.

மூன்று ரிபுலோஸ் மோனோஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறுகள் 3 கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு மூலக்கூறுகளை ஏற்கின்றன. இதனால் உண்டாகும் 3 மூலக்கூறுகள், ஆறு கார்பன்களைக் கொண்டவை.

இந்த மூன்று மூலக்கூறுகள், 6, ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்டிஹைடு களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இவற்றினிடையே பல்வேறு வேதியியல் மாற்றங்கள் நிகழ்ந்தபின் மீண்டும் மூன்று ரிபுலோஸ் மோனோஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறுகள் தோன்றுகின்றன. இதைப் படம் 6.7 -ல் காண்க.

தரசம், சுக்ரோஸ், போன்ற பொருள்களின் உற்பத்தி கிளை மாற்றங்களாக அமைகின்றன என்று அறிந்தோம். இனித் தொடரும் மாற்றங்களையும், மற்றுமொரு கிளையாகக் கருத வேண்டும்.

கிரியை 16

3-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம், அதனுடைய ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதியை, 3-ஆம் கார்பனில் கொண்டிருக்கிறது. இந்த ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதி, அமிலத்தின் இரண்டாம் கார்பனுக்கு இடம் பெயர ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரோ ம்யூடேஸ் (Phosphoglycero mutase) என்ற நொதி ஊக்கியாகின்றது. இதனால் 2-பாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் உண்டாகிறது. இதிலிருந்து சீரைன் என்ற அமினோ அமிலம் உற்பத்தியாகிறது. எனவே 2-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம், சீரைனுக்கு முன்னோடியாகிறது.

$$\text{3-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்} \underset{}{\overset{\text{ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரோ ம்யூடேஸ்}}{\rightleftharpoons}} \text{2-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்}$$

கிரியை 17

2-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலத்திலிருந்து ஒரு மூலக்கூறு நீர். பிரிந்துவிடுகின்றது. இதனால் ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைருவிக் அமிலமாகிறது (Phosphoenol pyruvic acid). இதற்கு ஊக்கியான நொதி ஈனோலேஸ்.

$$\text{2-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்} \xrightarrow[\text{—நீர்}]{\text{ஈனோலேஸ்}} \text{ஃபாஸ்ஃபோ ஈனால் பைருவிக் அமிலம்.}$$

கிரியை 18

ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைருவிக் அமிலம், பைருவிக் அமிலமாகும் போது தன் ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறை இழக்கிறது. பின்னர் அமோனியா பகுதியோடு இணைந்து, பைருவிக் அமிலம், அமினோ அமிலமாகிய அலனை (Alanine)னை உண்டுபண்ணுகிறது.

மேற்கண்ட கிரியைகள் நிகழ்கின்றன என்பதற்கு ஆதாரம், ஒளிச்சேர்க்கைப் புரிந்த பகுதிகளின் சாரத்தில், சீரைன் (Serine) அலனைன், அஸ்பார்டிக் அமிலம் (Aspartic acid), குளுடாமிக் அமிலம் (Glutamic acid) போன்ற அமினோ அமிலங்கள் இருப்பதே யாகும்.

குளோரெல்லா என்ற பசும்பாசியில் நிகழ்த்திய கதிரியக்க ஆய்வில், அலனைன் என்ற பொருள் கார்போ ஹைடிரேட்டுகள் உண்டாதலைப்போலவே விரைவில் தோன்றுகின்றனவென்றும், நிலைப்படுத்தப்பட்ட கார்பனில் முப்பது சத வீதத்திற்கும் மேலான அளவு, அமினோ அமிலங்களின் தயாரிப்பில் காணப்படுகிறது என்றும் கண்டனர்.

கொழுப்பு சத்துக்களும் கால்வின் சுழற்சியில் உற்பத்தி செய்யப் படலாம் என்று முன்னரே அறிந்தோம்.

இந்த வேதியியல் மாற்றங்களையும் கால்வின் சுழற்சியின் கிளை மாற்றங்களாகக் கொள்ளலாம்.

ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலத்திலிருந்து துவங்கும் மாற்றங் களில், ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் சிதைவுற்று, ஆக்ஸிகரணம் அடைந்து உண்டான இரு கார்பன் கூறுகள் பல இணைந்து கொழுப்பு அமிலங்களை (Fatty acids) உண்டுபண்ணலாம். ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்டிஹைடு, கிளிஸரால் ஃபாஸ்ஃபேட்டை உண்டுபண்ணலாம். இதிலிருந்து கிளிஸரால் (Glycerol) கிடைக் கும். கிளிஸராலும் கொழுப்பு அமிலங்களும் சேர்ந்து கொழுப்பு தயாராகலாம். மேற்கண்ட நிகழ்ச்சிகளைப் படம் 6.7-இல் காண்க.

கார்பன் நிலைப்பாட்டில் ஒரு புதிய பாதை

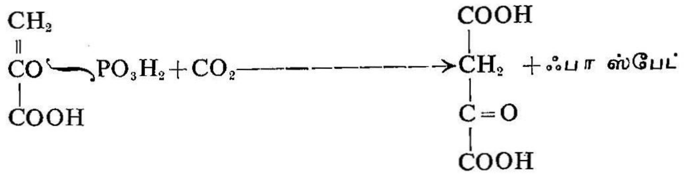
அண்மையில் எம். டி. ஹேட்ச் (M. D. Hatch) என்பவரும், சி. ஆர். ஸ்லேக் (C. R. Slack) என்பவரும், கார்பன் நிலைப்படுத்த லில் ஒரு புதிய பாதையைக் கண்டுபிடித்துள்ளனர். இவர்கள் ஆய்வுக்கென உபயோகப்படுத்திய தாவரங்கள் வெப்ப நாடுகளி லுள்ள புல்வகைகளாகும் (Tropical grasses) இவற்றில் சோளச் செடிகளை (Corn plants) எடுத்துக்கொண்டனர். இந்தத் தாவரங் களில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை ஏற்கும் மூலக்கூறு ஃபாஸ்ஃபோ ஈனல் பைருவிக் அமிலம் எனப்படுகிறது.

கால்வின் சுழற்சியில் ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட்டு கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை ஏற்கிறது எனக் கண்டோம். அதற்குமாறாக, ஃபாஸ்ஃபோ பைருவிக் அமிலம் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை ஏற்று,

4, கார்ஃபன்கள் உள்ள ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமில (Oxalo acetic, acid) உருவிற்கு மாறுகிறது.

கிரியை 1

மேற்கண்ட ஃபாஸ்போஈனுல் பைருவிக் அமிலம் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை ஏற்கும் நிகழ்ச்சியை முதல் கிரியையாகக் குறிப்பிட லாம். இந்தக் கிரியையில் ஊக்கியாகும் நொதியை ஃபாஸ்போ ஈனுல் பைருவேட் கார்பாக்ஸைலேஸ் (Phosphoenol phyruvate carboxylase) என்று குறிப்பிடுகின்றனர்.



ஃபாஸ்போஈனுல் *பைருவிக் அமிலம் + கார்பன்–டை–ஆக்ஸைடு → ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமிலம் + ஃபாஸ்ஃபேட்டு
(ஃபாஸ்ஃபோ ஈனுல் பைருவேட் கார்பாக்ஸைலேஸ்)

கிரியை 2

மேற்கண்ட கிரியையில் ஆக்ஸலோ அஸிடேட் தோன்றுவதைக் கவனித்தோம். கிரியை இரண்டில் ஆக்ஸலோ அஸிடேட் பல இடைமாற்றங்களில் ஈடுபட்டு மேலேட்டு (Malate) அஸ்பார்டேட்டு (Aspartate) போன்றவை தோன்றலாம்.

மேலேட்டு, சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் உண்டாகும் அமிலம் என அறிவோம். இது ஆக்ஸீகரணிக்கப்பட்டு ஆக்ஸலோ அஸிடேட் உண்டாகிறது. இங்கு ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டிலிருந்து மேலேட் தோன்ற வேண்டுமென்ருல், ஆக்ஸீகரணக் கிரியைக்கு நேர் எதிரிடையான குறைத்தல் நிகழ்ச்சி நிகழவேண்டும்.

அத்தகைய குறைத்தல் நிகழ்ச்சிக்கும் மேலேட் டீஹைடிரோஜினேஸ் ஊக்கியாகின்றது. இதற்கு இணைநொதியாக வரும் அம்சங்

---

* பைருவிக் அமிலம் என்று குறிப்பிடுவதைவிட பைருவேட் என்ற பெயரில் அழைப்பதே பொருந்தும். ஏனெனில் இவை தாவரத்தில் காணப்படும்போது அயனிகரணத்தினுல் பெரும்பாலும் அமில உருவில் இராமல் பைருவேட், சிட்ரேட் ஸக்ஸினேட் போன்ற அமைப்புகளில்தான் காணப்படுகின்றன,

கள் NADP அல்லது NAD எனப்படுகிறது. இதனுல் இரு மேலேட் டீஹைடிரோஜினேஸ் நொதிகள் (NADP specific or NAD specific Malete dehydrogenase) இருத்தல் வேண்டும் என்பது பெறப் படும்.

கிரியை 2

ஆக்ஸலோ அஸிடேட் + $NADPH_2$ —மேலேட் டீஹைடிரோஜினேஸ்→ மேலேட் + $NADP^+$

COOH | CH_2 | CO | COOH ஆக்ஸலோ அஸிடேட்	+ $NADPH_2$ ——→	COOH | CH_2 | HOCH | COOH மேலேட்	+ $NADP^+$

படம் 6.11.

கிரியை 3

ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டின் மற்ருெரு மாற்றம் இந்தக் கிரியை யில் நிகழ்கின்றது. இங்கு ஆக்ஸலோ அஸிடேட் மாற்று அமினீ கரணத்தினுல் அஸ்பார்டேட்டைத் தோற்றுவிக்கின்றது. இதற்கு நொதியாக அஸ்பார்டேட் அமினே டிரான்ஸ்ஃபெரேஸ் (Aspar-tate amino transferase) என்ற நொதி வினைபுரிகின்றது என்று கருதுகின்றனர்.

கிரி. 3

குளூடாமிக் அமிலம் அல்லது குளூடாமேட் + ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமிலம் அல்லது ஆக்ஸலோ அஸிடேட் —அமினே டிராஸ்ஃபெரேஸ்→

ஆல்ஃபாகீடோ குளூடாரேட் + அஸ்பார்டேட்.

அஸ்பார்டேட் ஒரு அமினே அமிலமென்று அறிவோம். இங்கு இது ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டின் வழியாகக் கிடைக்கின்றது.

கிரியை 4

ஆக்ஸலோ அஸிடேட் மற்ருெரு ஏற்பாடுடு வினைபுரிகிறது என்று கருதப்படுகின்றது. இத்தகையதொரு ஏற்பான் மற்ருெரு பாதையின் வழியாக உற்பத்தியாகலாம் என்று குறிப்பிடுகின்றனர்.

அத்தகைய பாதையைக் கால்வின் சுழற்சிப்பாதை (Calvin cycle) என்று கூறுகின்றனர்.

எனவே, இவர்கள் எடுத்துக்கொண்டுள்ள ஆய்வுச் செடியில் இரு மார்க்கங்களும் நிகழ்வதோடு அவை ஒன்றை ஒன்று பிணைக்கும் முறையில் நிகழ்வதாகவும் கூறுகின்றனர்.

ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமிலம், ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட்டுடன் இணைவதாகக் கூறப்படுகின்றது. ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ் பேட்டு கால்வின் சுழற்சியால் வினைபுரிவதை முன்னரே அறிவோம்.

ஆக்ஸலோ அஸிடேட்+ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ் பேட் ⟶ 2 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட்+ பைருவேட்

நான்கு கார்பன்களைக்கொண்ட ஆக்ஸலோ அஸிடேட் ஐந்து கார்பன்களைக்கொண்ட ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட்டுடன் இணைந்து இரு ஃபாஸ்போ கிளிஸரிக் அமில மூலக்கூறுகளையும், ஒரு பைருவிக் அமில மூலக்கூறையும் தோற்றுவிக்கின்றது. இந்த மாற்றங்களில் டிரான்ஸ் கார்பாக்ஸைலேஸ் (Trans carboxylase) என்ற நொதி ஊக்கியாகின்றது எனக் கூறுகின்றனர்.

கிரியை 5

மேற்கண்ட முறையில் தோன்றிய பைருவேட்டின் மூன்று கார்பன்களும் ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டின் முதல் மூன்று கார்பன்களாகின்றன. இங்ஙனம் தோன்றிய பைருவேட் ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் அடைந்து மறுபடியும் ஃபாஸ்ஃபோஈனல் பைருவிக் அமிலத்தைத் தோற்றுவிக்கின்றது.

கிரி. 5. பைருவேட்+ATP+ஃபாஸ்ஃபேட் ⟶ (பைருவேட் ஃபாஸ் ஃபோடைகைனேஸ்) ஃபாஸ்ஃபோ ஈனல் பைருவேட் +AMP+பைரோஃபாஸ்ஃபேட்

இந்தக் கிரியையில் ATPயின் நீர் இணைத்தல் (Hydrolysis) நிகழ்ச்சி நிகழ்வதைக் கவனிக்கவும். இதனால் ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறு பைருவேட்டுடன் இணைந்து ஃபாஸ்ஃபோஈனல் பைருவேட் உண்டாகிறது. இங்கு சக்தி தேவை. ATPயின் நீர் இணைத்தலால் ஈடு செய்யப்பட்டதைக் காண்க.

கிரியை 6

AMPஐ அடினிலேட் டைகைனேஸ் (Adenylate di Kinase) என்ற நொதி ADPயாக மாற்றுகின்றது. பைரோ ஃபாஸ்ஃபேட்டை (Pyrophosphate) பைரோ ஃபாஸ்ஃபடேஸ் என்ற நொதி (The Enzyme pyrophosphatase) இரு ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறுகளாக சிதைக்கின்றது.

கிரி. 6 AMP + ஃபாஸ்ஃபேட் $\xrightarrow[\text{டைகைனேஸ்}]{\text{அடினிலேட்}}$ ADP

கிரி. 7 PP பைரோஃபாஸ்ஃபேட் + H_2O $\xrightarrow{\text{ஃபாஸ்ஃபடேஸ்}}$ 2 ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள்

கிரியை 8

இனிவரும் மாற்றங்களில் ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரேட் ஈடுபடுகிறது. மேலும் இந்த மாற்றங்கள் அனைத்தும் கால்வின் சுழற்சியின்மாற்றங்களைக் குறிக்கின்றன.

ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரேட் ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டின் வழியாக ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட்டின் சேர்க்கையால் உண்டாவதை முன்னரே பார்த்தோம்.

இந்த மார்க்கத்தைத் தவிர ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைருவேட்டின் வழியாகவும் இது உண்டாகலாம் என்று குறித்துள்ளனர். இங்கு ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைருவேட்டை ஈனோலேஸும், ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட் ம்யூடேஸும் அடுத்தடுத்து மாற்றுவதினால் ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரேட் தோன்றுவதாகக் குறிப்பிடுகின்றன.

ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைருவேட் + H_2O $\xrightarrow{\text{ஈனோலேஸ்}}$ 2 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட்

2 ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரேட், 3 ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரேட்டாக மாறுவதற்கு 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரோ ம்யூடேஸ் என்ற நொதி (The enzyme phosphoglycero mutase) ஊக்கியாகின்றது.

2 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட் $\xrightarrow[\text{ம்யூடேஸ்}]{\text{ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரோ}}$ 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட்

கிரியை 9

ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரேட், 1,3-டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட்டின் வழியாக, 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடு உருவிற்கு மாற்றப்படுகின்றது.

இங்குக் கிரியை 9-ல் ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரேட் கைனேஸ் என்ற நொதியின் உதவியாலும், ATP-யின் சிதைவினாலும் 1, 3-ஃடைபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட் உண்டாகிறது.

கிரி. 9

$$\text{3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட்} + ATP \xrightarrow[\text{கைனேஸ்}]{\text{ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட்}} \text{1,3 டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட்} + ADP$$

கிரியை 10

1, 3 டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட், குறைத்தல் அடைந்து 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடாக மாறுகின்றது. இதற்கு ஊக்கியாகும் நொதியை கிளிஸரால் டிஹைட் 3 ஃபாஸ்ஃபோ டீஹைடி ரோஜினேஸ் (Clycerol dehyde 3 phospho dehydrogenase) என்றழைக்கின்றனர். இதற்கு இணைநொதியாக NADP-ஐக் குறிப்பிடுகின்றனர்.

$$\text{கிரி. 10. 1,3-டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட்} + NADPH_2 \xrightarrow[\text{ஜினேஸ்}]{\text{டீஹைடிரோ-}} \text{3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடு} + NADP + \text{ஃபாஸ்ஃபேட்}$$

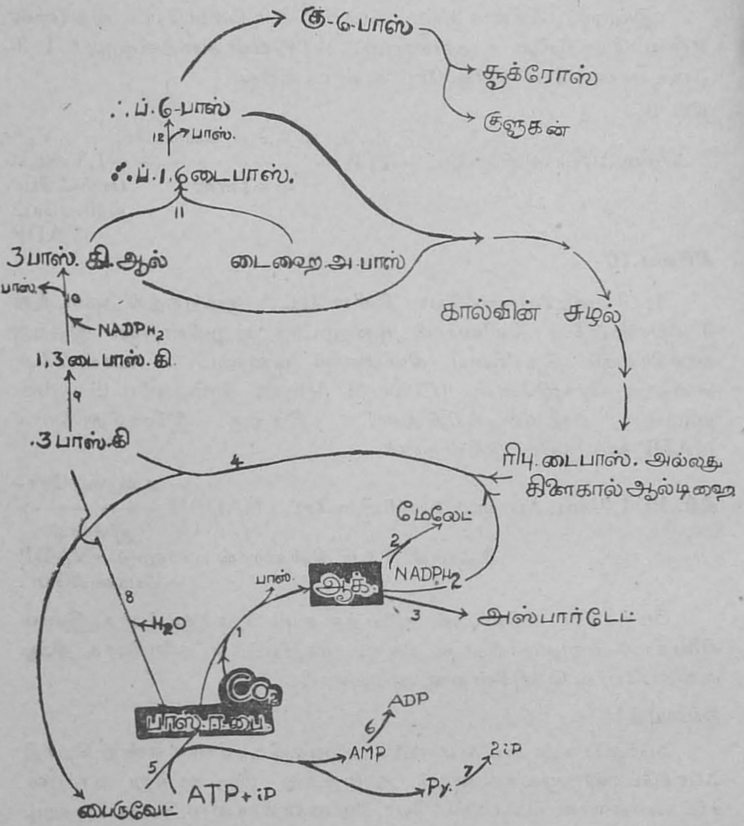
மேற்கண்ட கிரியைகள் அனைத்தையும் நோக்கும்போது இவை கிளைகாலிஸிஸ்ஸின்போது நிகழும் மாற்றங்கள் தலைகீழாக நிகழ்வதைப்போல் தெரிகின்றன அல்லவா?

கிரியை 11

ஃப்ரக்டோஸ் டைஃபாஸ்ஃபோ ஆல்டொலேஸ் என்ற நொதி ஃப்ரக்டோஸ் மூலக்கூறைத் துண்டித்து இரு மூன்று கார்பன் சர்க்கரைகளான 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடு, டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டு போன்றவற்றைத் தோற்றுவித்தல்போல, அதே நொதி கிரியை 11-ல் 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடையும், டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டையும் இணைத்து ஃப்ரக்டோஸ் டை-ஃபாஸ்ஃபேட்டை உற்பத்தி செய்கிறது.

கிரியை 10-ல் 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்டிஹைடு உண்டாவதைப் பார்த்தோம். இதிலிருந்து மற்றொரு கிரியையின்மூலம் டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டு, ஐஸோமிரேஸ் (Isomerase) என்ற நொதியின் உதவியால் உண்டாகிறது

பின்னர், மேற்கண்ட இரு, மூன்று கார்பன் சர்க்கரைகளும் இணைவதைக் கிரியை 11-ல் காணலாம். படம் (6,12).



படம் 6.12. C_4 டைகார்பாக்ஸில் அமில சுழற்சி

கு.—6. பாஸ் = குளுகோஸ் 6 ஃபாஸ்ஃபேட்
ஃப். 6 பாஸ் = ஃப்ரக்டோஸ் 6 ஃபாஸ்ஃபேட்
ஃப். 1, 6 டைபபஃஸ் = ஃப்ரக்டோஸ் 1, 6 டைஃபாஸ்ஃபேட்
3 பாஸ் கி. ஆல் = 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைட்
டைஹை. அ. பாஸ் = டை ஹைட்ராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்
பாஸ் = ஃபாஸ்ஃபேட்
$NADPH_2$ = நிகோடினமைட் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் ஃபாஸ்ஃபேட் டின் குறைத்தல் அடைந்த நிலை
1, 3 டைபாஸ் கி. = 1, 3 டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட்
3 பாஸ் கி. = 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட்
ரிபு. டைபாஸ் = ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்ஃ பேட்
கிளைகால் ஆல்டிஹைடு = கிளைகால் ஆல்டிஹைட் ஃபாஸ்ஃபேட்
(Glycol aldehyde phosphate)

ஆக். = ஆக்ஸலோ அஸிடேட்
பாஸ். ஈ. பை = ஃபாஸ்ஃபோஈனல் பைருவேட்
Co_2 = கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு
iP = ஃபாஸ்பேட்
ATP = அடினேசின் ட்ரை ஃபாஸ்ஃபேட்
AMP = அடினேசின் மோனோ ஃபாஸ்ஃபேட் அல்லது அடினிலிக் அமிலம்
ADP = அடினேசின் டைஃபாஸ்ஃபேட்
Py = பைரோ ஃபாஸ்ஃபேட்

கிரியைகள் :

(*1*) ஃபாஸ்ஃபோஈனல் பைருவேட் கார்பாக்ஸைலேஸ் கிரியை. (2) NADP அல்லது NAD-ஐ இணைநொதியாகக்கொண்ட மேலேட் டீஹைடிரோஜினேஸ் கிரியை. (3) அஸ்பார்டேட் அமினோ டிரான்ஸ்ஃபெரேஸ் கிரியை. (4) C_1 டிரான்ஸ் கார்பாக்ஸைலேஸ் கிரியை. (5) பைருவேட் ஃபாஸ்போ டை கைனேஸ் கிரியை. (6) அடினிலேட் டைகைனேஸ் கிரியை. (7) பைரோ ஃபாஸ்ஃபடேஸ் கிரியை. (8) ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட் ஈனோலேஸ் கிரியையும், ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட் ம்யூடேஸ் கிரியையும் தொடர்ந்து நிகழ்வது. (9) ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட் கைனேஸ் கிரியை. (*10*) NADP-ஐ இணைநொதியாகக்கொண்ட 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடு டீஹைடிரோஜினேஸ் கிரியை. (*11*) ஃப்ரக்டோஸ்-டைஃபாஸ்ஃபேட் ஆல்டொஃலேஸ் கிரியை. (*12*) ஃப்ரக்டோஸ் டைஃபாஸ்ஃபடேஸ் கிரியை. இதிலிருந்து குளுகோஸ் 6 ஃபாஸ்ஃபேட் தோன்றும். இதுவே சூக்ரோஸ் போன்ற சர்க்கரை பொருள் தோன்றுகின்றது. அல்லது பல சர்க்கரை மூலக்கூறுகள் இணைந்த கார்போ ஹைடிரேட்டுகளான குளுகன் போன்ற பொருள்களிலும் காணப்படலாம். பின்னர் குளுகோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டுக்கள், 3 ஃபாஸ் கிளிஸரால்டிஹைடுடன் இணைந்து கால்வின் சுழல் கிரியைகளில் பங்குகொள்ளும். இதன் முடிவில் தோன்றும் ரிபுலோஸ் மோனோ ஃபாஸ்பேட், ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேஃடாகிறது. இது ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டின் கார்பாக்ஸில் பகுதியை ஏற்று இரு கிளிஸரேட் மூலக்கூறுகளாகவும், ஒரு பைருவேட் மூலக்கூருகவும் சிதைகின்றது.

கிரி. 11. டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்பேட்டு + 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடு

$\xrightarrow[\text{ஆல்டொலேஸ்}]{\text{ஃப்ரக்டோஸ் டைஃபாஸ்ஃபா}}$ ஃப்ரக்டோஸ் 1, 6-டை ஃபாஸ்ஃபேட்டு

கிரியை 12

ஃப்ரக்டோஸ் 1, 6-டைஃபாஸ்ஃபேட்டு இனி ஒன்ரும் கார்பனில் இணைந்த ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறை இழக்கிறது. இதனல் ஃப்ரக்டோஸ் 6 ஃபாஸ்ஃபேட்டு உண்டாகிறது. இதற்கு ஊக்கியாக

ஃப்ரக்டோஸ் டைஃபாஸ்ஃபடேஸ் (Fructose diphosphatase) என்ற நொதி உதவுகின்றது.

கிரி. 12. ஃப்ரக்டோஸ் 1, 6-டைஃபாஸ்ஃபேட் + H_2O —ஃப்ரக்டோஸ்டைஃபாஸ்ஃபடேஸ்→ ஃப்ரக்டோஸ் 6-பாஸ்ஃபேட் + ஃபாஸ்ஃபேட்

கிரியை 13

ஃப்ரக்டோஸின் பல மாற்றங்களினால், குளுகோஸ், சூக்ரோஸ் (Sucrose), தரசம் (Stareh) போன்ற கார்போஹைடிரேட்டுகள் உண்டாகின்றன. இவற்றை ஃப்ரக்டோஸிலிருந்து வரும் பல கிளைகளாகக் குறிப்பிடலாம்.

ஃப்ரக்டோஸ் 6-ஃபாஸ்ஃபேட், குளுகோஸ் 6 ஃபாஸ்ஃபேட் டாக மாறுவதற்கு ஃபாஸ்ஃபோ குளுகோ ஐஸோமிரேஸ் (Phosphogluco Isomerase) என்ற நொதி உதவுகின்றது.

கிரி. 13. ஃப்ரக்டோஸ் 6-ஃபாஸ்ஃபேட் —ஐஸோமிரேஸ்→ குளுகோஸ் 6 ஃபாஸ்ஃபேட்

ஃப்ரக்டோஸ் 6-ஃபாஸ்ஃபேட், 3-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைஹடுடன் இணைந்து இரு சர்க்கரைகளை உண்டுபண்ணலாம். இவை எரித்ரோஸ், ஸைலுலோஸ் என அழைக்கப்படுகின்றன. ஒன்று 4 கார்பன்களைக் கொண்டது. மற்றது 5 கார்பன்களைக் கொண்டதாகும். எரித்ரோஸ் ட்ரையோஸ் சர்க்கரையுடன் இணைந்து 7 கார்பன் சர்க்கரையைத் தோற்றுவித்தல் போன்ற கிரியைகள் கால்வின் சுழற்சியில் நிகழ்வதை அறிவோம். அத்தகைய மாற்றங்களின் முடிவில் கிடைக்கும் ஐந்து கார்பன் சர்க்கரையான ரிபுலோஸ், முன்னர் கண்டபடி ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டை ஏற்கின்றது.

இங்கு ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட் ஆக்ஸலோ அஸிடேடிற்கு முன்னோடியாகவோ அல்லது அதனை ஏற்பானாகவோ அமையலாம் என்று கருதப்படுகின்றது.

ஃபாஸ்போ பைருவேட் ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டைத் தோற்றுவித்து வரும் மாற்றங்களடங்கிய பாதையை C_4 டைகார்பாக்ஸிலிக் அமிலப் பாதை (C_4 Dicarboxylic acid pathway) என்று அழைக்

கின்றனர். C_4 என்று நான்கு கார்பன்கள் உள்ள ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமிலத்தை இங்குக் குறிப்பிட்டுள்ளனர். இதனை மைய மாக வைத்தே பல மாற்றங்கள் நிகழ்வது பெறப்படும்.

லிபிடுகளைச் சிதைக்கும் விதைகளிலும், பாக்டீரியாவிலும் கிளை யாக்ஸிலிக் அமிலப் பாதை (Glyoxylic acid pathway) அல்லது கிளையாக்ஸிலிக் அமில சுழற்சி (Glyoxylic acid Cycle) என்றொரு மார்க்கம் காணப்படுகிறது. இங்கும் ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டி லிருந்து ஃபாஸ்ஈனுல் பைருவேட் தோன்றுகிறது. இதற்கு NTP-யும், ஃபாஸ்ஃபோ பைருவேட் கைனேஸும் தேவைப்படு கின்றன. இங்கு ஆக்ஸலோ அஸிடேடிலுள்ள 4 கார்பன்களில் ஒன்று கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாக நீக்கப்படுகின்றது.

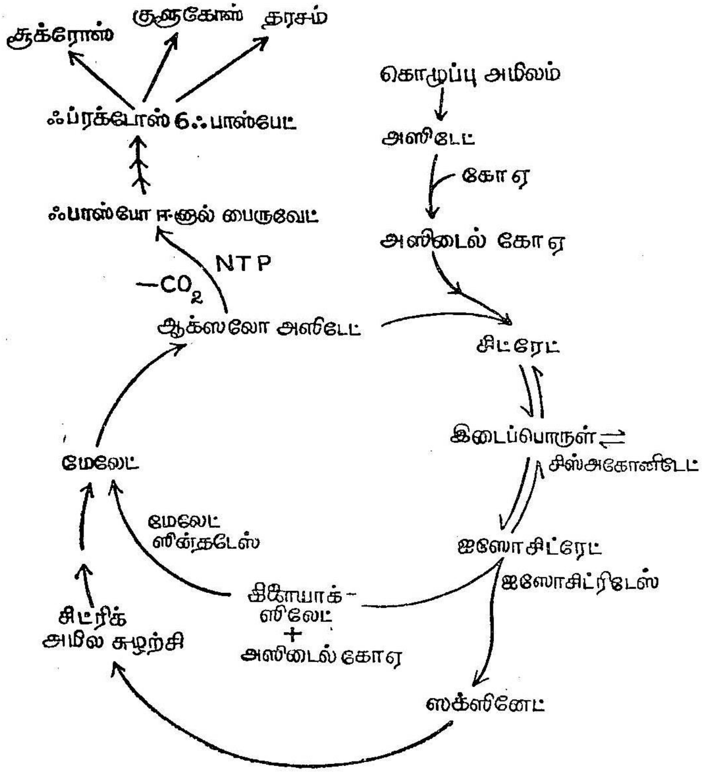
ஆக்ஸலோ அஸிடேட் + NTP ————————→ ஃபாஸ்ஃபோ-ஈனுல் பைருவேட் + Co_2 ↑

ஃபாஸ்ஃபோஈனுல் பைருவேட்டிலிருந்து வரும் பல பொருள் களின் உற்பத்தி நாம் முன்னர் கண்ட 'டைகார்பாக்ஸிலிக் அமிலப் பாதையில் வரும் மாற்றங்களை ஒத்ததாகின்றன. இதனுல் முடிவில் ஃப்ரக்டோஸ், குளுகோஸ், சூக்ரோஸ், தரசம்போன்ற பொருள்கள் உற்பத்தியாவது பெறப்படும்.

இந்தப் பாதையில் கிளையாக்ஸிலிக் அமிலம் தோன்றுவதாக முன்னர் குறிப்பிடப்பட்டது. லிபிடுகளிலுள்ள கொழுப்பு அமிலங் கள் சிதைந்து அஸிடைல் கோஏ (Acytyle CoA) தோன்றும். இது சிட்ரிக் அமில சுழற்சியின் வழியாகச் சென்று சிட்ரிக் அமிலத்தைத் தோற்றுவிக்கின்றது.

பின்னர் சிட்ரிக் அமிலம் ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலமாகிறது. ஐஸோ சிட்ரிடேஸ் நொதியால், ஸக்ஸினேட்டாகவும் கிளையாக் ஸிலிக் அமிலமாகவும் (Glyoxylic acid or Gly oxynate) மாறு கின்றது.

கிளையாக்ஸிலிக் அமிலம் 2 கார்பன் கொண்ட பொருளாகும். இது அஸிடைல் கோஏவுடன் சேர்ந்து மேலேட் ஸின்தடேஸ் என்ற நொதியின் உதவியால் மேலேட்டாக மாறிப் பின்னர் ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டை உற்பத்தி செய்கின்றது. இந்த மாற்றங் களைப் பின்வரும் படம் 6.13-ல் குறிப்பிடலாம்.



படம் 6.13. கிளையாக்ஸிலிக் அமிலம் சுழற்சி

இங்குக் காணப்படும் ஸக்ஸினேட், ஆக்ஸலோ அஸிடேட் போன்ற 4 கார்பன்களுடைய அமிலங்கள் தோன்றுவதுடன், ஃபாஸ்ஃபோ ஈனல் பைருவேட் தோன்றுவதன் மூலம் கார்போஹைடிரேட்டுகள் உற்பத்தியாவதற்கும் மேற்கண்ட கிளையாக்ஸிலிக் அமில சுழற்சி பயன்படுகிறது. இந்த அமிலப் பாதையை முதன் முதலில் பாக்டீரியாவில் கண்டுபிடித்தனர். பின்னர் தான், பல தாவரங்களில் இது நிகழ்வதாகக் கண்டுபிடித்தனர்.

சில ஆய்வுகளின் பயனாகப் புதியதொரு அமிலம் தோன்றுவதாகக் கண்டுபிடித்துள்ளனர். இது கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு

குறைந்த சூழ்நிலைகளிலும், ஆக்ஸிஜன் செறிவு அதிகமான சூழ்நிலைகளிலும் தோன்றுவதாகக் கண்டுபிடித்துள்ளனர். கதிரியக்கக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸடை உபயோகித்து மேற்கண்ட சோதனைகளை நிகழ்த்தினர். இதனால் கதிரியக்கம் கொண்ட கிளைகொலிக் அமிலம் (Radioactive or fagged Glycolic acid) தோன்றியது. அதன் கதிரியக்கம் கார்பாக்ஸில் கார்பனில் காணப்பட்டது.

$$CH_2OH \cdot C^{*}OOH$$

கிளைகொலிக் அமிலம்

இந்த அமிலம் தோன்றும் விதத்தை இன்னும் தெளிவாகக் கண்டறியவில்லை. இது பல மாற்றங்களின் முடிவில் ஐந்து கார்பன் சர்க்கரையைத் தோற்றுவிப்பதாக பேஷாம் (Bassham) குறிப்பிட்டுள்ளார்.

எனவே கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்தல் என்ற கிரியைப் பல்வேறு வழிகளில் நிகழ்கிறதெனலாம். ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட்டை ஓர் ஏற்பானாகக் கொண்டுள்ள பாதை கால்வின் சுழற்சியெனப்படுகிறது. இங்கு ஒளியில் தயாரித்த குறைத்தல் சக்தி ($NADPH_2$) 3 ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரிக் அமிலத்தைக் குறைக்கிறது. இதற்குத் தேவையான ATPயும் ஒளிக்கிரியையில் தயாரிக்கப்படுகின்றன. கால்வின் சுழற்சியின் முதல் படியில் கார்பன் நிலைப்படுத்தல் நிகழ்கின்றது.

சுழற்சியின் கிளைமாற்றங்களாக அமினோ அமிலங்கள் உற்பத்தியாகும் கிரியைகளும், லிபிடுகள் தோன்றுவதும் குறிப்பிடப்பட்டுள்ளன. ஆனால் சுழற்சியின் பெரும்பகுதியான மையப் பகுதியில் இவை காண்பிக்கப்படவில்லை.

டைகார்பாக்ஸிலிக் அமில சுழற்சியில் அமினோ அமிலங்கள் தோன்றுவதையும், கார்போஹைடிரேட்டுகளின் பல மாற்றங்களையும் ஒன்றாகக் குறிப்பிட்டுள்ளனர்.

கால்வின் சுழற்சியில் ஐந்து கார்பன்கள் கொண்ட பொருள் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை ஏற்றுக்கொண்டது.

டைகார்பாக்ஸிலிக் அமில சுழற்சியில் (மூன்று) கார்பன்கள் கொண்ட ஃபாஸ்ஃபோஈனல் பைருவிக் அமிலம் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை ஏற்றுக்கொண்டது.

கிளைகோலிக் அமில சுழற்சியில் இரு கார்பன்கள் கொண்ட இந்த அமிலம், H_2 CoH சுயேச்சையாகத் தோற்றுவிக்கப்படும்

$$\begin{array}{c} H_2\,CoH \\ | \\ COOH \end{array}$$

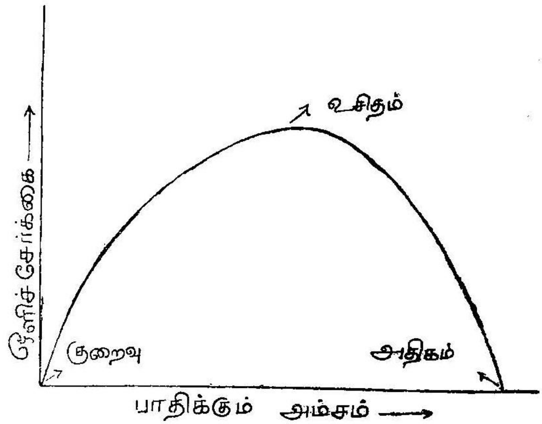
(Denovo synthesis) என்று கருதுகின்றனர். இது பின்னர் 3-ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரால்டிஹைஹடுடன் சேர்ந்து ரிபுலோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட் உண்டாகிறது என்று கூறுகின்றனர். இதனால் கால்வின் சுழற்சியில் கண்ட மாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன என்று குறிப்பிடுகின்றனர். இங்கு முதற்கண் சுயேச்சையாகத் தோன்றிய கிளைகோலிக் அமிலத்தில் கதிரியக்கம் கார்பாக்ஸில் கார்பனில் இருப்பதாக முன்னரே கண்டோம். எனவே அங்குக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு காணப்படுவது பெறப்படும். ஆனால் அது எங்ஙனம் இந்த அமைப்பைப் பெற்றது என்பது தெளிவாகவில்லை.

கால்வின் சுழற்சியில் ரிபுலோஸ் சர்க்கரையை முன்னோடியாகக் கொண்டுள்ள மாற்றங்களில் ஏற்கனவே கார்பன் நிலைப்படுத்தப் பட்ட ஒரு பொருளைக் குறிக்கிறோம். டைகார்பாக்ஸில் அமில சுழற்சியும் அவ்வாறே பெரும்பாலும் நிகழ்கின்றது. ஆனால் கிளைகோலிக் அமிலத்தோற்றம், முன்னரே கார்பன் நிலைப் படுத்தப்பட்ட பொருளைச் சார்ந்த மற்றொரு கார்பன் நிலைப்பாடாக இராமல், புதிதாகக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் நிலைப்படுத்தலை, இரு கார்பன் பொருள் உருவில் கொடுக்கின்றது. எனவே இந்தப் பாதையை அல்லது சுழற்சியை முற்றும் தெளிவாகக் கண்டறிவது ஒரு சிறந்த முயற்சியாகும்.

ஒளிச்சேர்க்கையை பாதிக்கும் அம்சங்கள்

ஒளிச்சேர்க்கை என்னும் நிகழ்ச்சி ஒளிச் சக்தியால் நிகழ்வது. நீரைப் பிரித்துக் குறைத்தல் சக்தியை உண்டுபண்ணுதல் ஒளிக் கிரியையின் வினையாகும். கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு என்ற வாயுவை நிலைப்படுத்தும் வேதியியல் மாற்றங்களில்தான் பல உணவுகளை, சத்துக்களை உற்பத்தி செய்யும் நிகழ்ச்சிகள் அடங்கியுள்ளன. வேதியியல் நிகழ்ச்சிகளைத் துரிதமாக்க வெப்பம் தேவை. தட்ப நிலையில் உயிர் வேதியியல் நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறா. உயர்ந்த வெப்பநிலையும் தீமையே விளைவிக்கும்.

ஒளி, நீர், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு, வெப்பநிலை போன்ற சூழ்நிலை அம்சங்கள் ஒளிச்சேர்க்கையை நடத்துவனவாதலால், அவற்றில் ஏற்படும் மாற்றங்கள் மேற்கண்ட நிகழ்ச்சியைப் பாதிக்கின்றன. படம் (6.14).



படம் 6.14.

ஒளிச்சேர்க்கையைப் பாதிக்கும் அம்சங்களின் மூன்று அளவுகள்

ஸாக்ஸின் வரம்பிடு அம்சங்களின் மூன்று அளவுகளைக் குறிக்கும் படம். இது சூழ்நிலை அம்சங்களைக் குறிக்கின்றது. வெப்பநிலை மிகக் குறைவான அளவில் இருக்கும்போது ஒளிச்சேர்க்கையின் தீவிரமும் குறைவாக உள்ளது. வெப்பநிலை ஒரு உசிதமான அளவில் இருக்கும்போது ஒளிச்சேர்க்கையின் (வேகமும்) தீவிரமும் அதிகமாகிறது. வெப்பநிலை மிக அதிகமாகும்போது (உசிதமான நிலையைவிட) ஒளிச்சேர்க்கை பாதிக்கப்படுகிறது.

இவை ஒளிச்சேர்க்கைக்கென அமைந்த வெளிப்புற சாதனங்கள். ஆனால் ஒளிச்சேர்க்கை தாவரங்களில் நிகழ்கின்றது.

தாவரங்களின் செல் அமைப்பு, ஒளியை ஈர்ப்பதற்கு ஏற்ற இலைப் பரப்பு, காற்றுப்புக வழிகள், நீர் நிலைகளை அடையும் வழிகள், போன்றவை அக அமைப்புகளாகும். எனவே இவற்றின் அமைப்பும் ஒளிச்சேர்க்கையைப் பாதிக்கலாம்.

வரம்பிடு அம்சக் கோட்பாடு

ஸாக்ஸ் (Sachs) என்பவர், 1860-ல், சூழ்நிலை அம்சங்கள் ஒளிச்சேர்க்கைக்கு எங்ஙனம் வரம்பிடுகின்றன என்பதைக் குறிப்பதற்கு ஒரு தத்துவம் கண்டார்.

சூழ்நிலை அம்சங்கள், குறைந்த, உசிதமான, மிகையான எனப்படும் மூன்று நிலைகளில், ஒளிச் சேர்க்கையைப் பாதிக்கின்றன (The minimum, Optimum and Maximum for the factors that limit photosynthesis), என்று அவர் குறிப்பிட்டார்.

சான்ருக, எந்த ஒரு தாவரமும், ஒரு குறிப்பிட்ட குறைந்த வெப்பநிலேக்குக் கீழ் ஒளிச்சேர்க்கை புரியாது; ஓர் உசிதமான வெப்பநிலேயில் ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகமும் உயர்வான நிலேக்கு உயருகிறது; ஒரு குறிப்பிட்ட மிகையான வெப்பநிலேக்கு மேல் ஒளிச்சேர்க்கை நிகழ்வதில்லே.

ஆனல், ஓர் உசிதமான வெப்பநிலே என்று குறிப்பிடப்பட்டது மாறுபடுகிறது. ஒரு சோதனேயின்போது உசிதமாக இருந்த வெப்பநிலே மற்ருெரு சோதனேயின்போது மாறி விட்டது. ஏனெனில் மேற்கண்ட சோதனேகள் வெவ்வேறு ஒளித் தீவிரத்திலும், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு செறிவிலும் நிகழ்ந்தன.

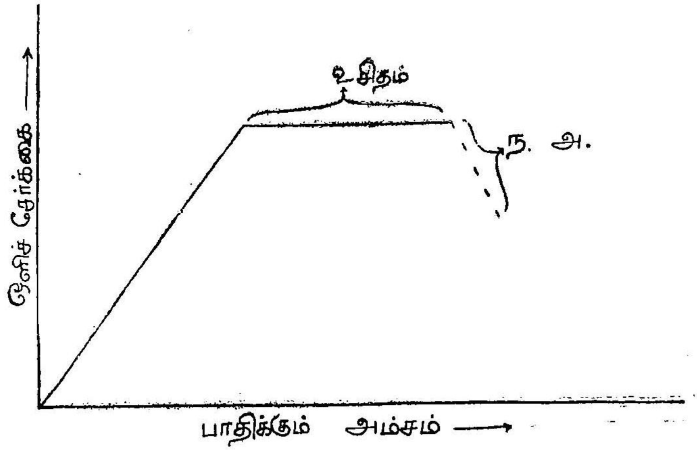
எனவே சாக்ஸ் என்பவரின் கோட்பாட்டின் வாயிலாக, எவ்வாறு சூழ்நிலே 'அம்சங்கள் ஒளிச்சேர்க்கையைப் பாதிக்கின்றன என்பதை அறிவது கடினமாயிற்று.

இருபதாம் நூற்ருண்டின் முற்பகுதி வரை இந்த நிலேமை இருந்து வந்தது. பின்னர், பிளாக்மேன் (Blackman) என்பவர், வரம்பிடு அம்சக் கோட்பாடு, என்ற கோட்பாட்டினே உருவாக்கினர்.

இதுவும், லீபிக் என்பவரின் குறைந்த அம்ச விதியிலிருந்து (Liebig's Law of the mininum) திருத்தி உரைக்கப்பட்டதாகும். அந்த விதிப்படி, ஒரு உயிர்ச் செயலின் வேகம், பல அம்சங்களால் கட்டுப்படுத்தப்படும்போது, அந்தப் பல்வேறு அம்சங்களில் மிகக் குறைந்த நிலேயிலுள்ள அச்சம், மேற்கண்ட செயலின் வேகத்திற்கு வரம்பிடுகிறது.

ஒளி, நீர், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு, வெப்பநிலே என்ற பல்வேறு அம்சங்களில் ஒளியைத் தவிர மற்றவையெல்லாம் மிதமான நிலேயில் இருக்கின்றன என்று கொள்வோம். ஒளியென்னும் அம்சம் மாத்திரம் மிகக் குறைந்த நிலேயில் இருக்கின்றது என்ருல், ஒளிச்சேர்க்கை பாதிக்கப்படும்.

இதனேயே பிளாக்மேன் குறிப்பிட்டார். மிகக் குறைந்த நிலேயிலுள்ள அம்சத்திஞல் ஒளிச்சேர்க்கை நிகழாமல் பாதிக்கப்படும் கட்டத்தைத் தவிர்க்க, அந்தக் குறைந்த நிலேயிலுள்ள அம்சத்தை உயர்த்தி, உசிதமான நிலேக்குக் கொண்டுவர வேண்டும். அங்ஙனம் உயர்த்தும்போது ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகமும் உயருகிறது. ஆனல், உசிதமான நிலேயை அடைந்தவுடன், ஒளிச்சேர்க்கை என்னும் நிகழ்ச்சி கிடைமட்டமாகிறது.



படம் 6.15. பிளாக்மேனின் வரம்பிடு அம்சம்

பிளாக்மேனின் கொள்கைப்படி வரம்பிடு அம்சம் ஒளிச் சேர்க்கையைப் பாதிப்பதை விளக்கும் படம்.

சூழ்நிலை அம்சங்களில் ஒன்று வரம்பிடுவதாக இருந்தால் அது குறைவான அளவில் இருக்கும் வரை ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகமும் குறையும். பிறகு அதன் அளவு உயர உயர ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகமும் உயரும். ஆனால் உசிதமான நிலையில் ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகமும் உடனே ஒரு நிலைத்த தன்மையை அடைவதால் வரைகோடு கிடைமட்டமாகிறது. மேலும் அந்த அம்சத்தின் அளவினை உயர்த்தினால் அது நச்சுத் தன்மையைக் கொடுக்கும் அளவிற்கு (ந. அ.) அதிகமாகி, ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகம் குறைகிறது. இதனால் வரைகோடு தாழ்ந்து விடுகிறது.

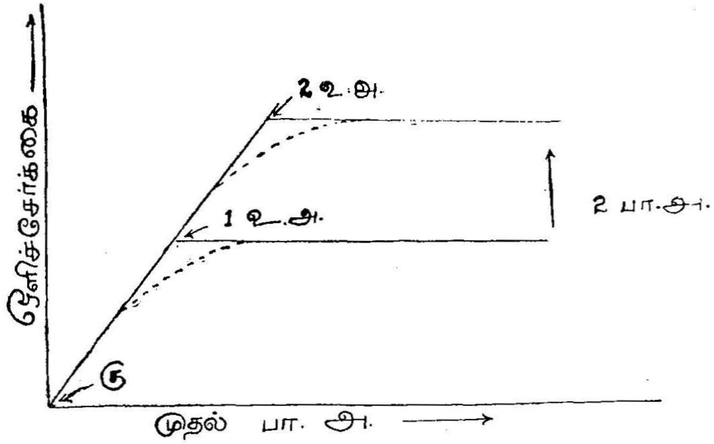
மென்மேலும் அந்த அம்சத்தின் நிலையை உயர்த்தினாலும் ஒளிச் சேர்க்கையின் வேகத்தில் யாதொரு மாற்றமும் காணப்படுவதில்லை.

ஒளியென்னும் ஓர் அம்சம் இத்தகைய நிலையை அடைந்த பிறகு, மற்றொரு அம்சம் ஒளிச்சேர்க்கையைப் பாதிக்கலாம்.

சான்றாக, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செறிவு போதிய அளவு இல்லாவிடில், அதன் செறிவை உயர்த்த வேண்டும். ஓர் உசிதமான நிலையை அடைந்த பிறகு, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செறிவை அதிகப்படுத்தினாலும் யாதொரு மாற்றமுமில்லை. மீண்டும் ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகம் கிடைமட்டமாகி விட்டது.

ஒளியின் தீவிரமும், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செரிவும் தத்தம் உயர் மட்டங்களை அடைந்த பிறகு, வெப்ப நிலையும் ஒளிச் சேர்க்கையைப் பாதிக்கும் அம்சமாகலாம். வெப்ப நிலையைக் குறைந்த நிலையிலிருந்து உயர்த்த வேண்டும். இதுவும் ஓர் உசித மான நிலையை அடைந்தவுடன், ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகமும் உயர்ந்து காணப்படுகிறது. வெப்பநிலை ஓர் உயர் மட்டத்தை அடைந்த பிறகு ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகம் கிடைமட்டமாகிறது.

இங்ஙனம் முடிவாக உயர்ந்த கோடு (படம் 6.16) ஒளிச்சேர்க்



படம் 6.16. பிளாக்மேனின் வரம்பிடு அம்சங்கள்

பல சூழ்நிலை அம்சங்கள் ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகத்தைக் கட்டுப்படுத்து கின்றன. ஒவ்வொரு அம்சத்தின் மாற்றத்தினால் வெவ்வேறு உசிதமான ஒளிச் சேர்க்கையின் பீடங்கள் ஏற்படுகின்றன. இதனால் ஒன்றுக்குமேற்பட்ட கிடை மட்டமான வரைகோடுகள் வரையப்பட்டுள்ளன. இங்கு இரு அம்சங்களின் மாற்றமும், ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகமும் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

2 உ. அ. = உச்ச அளவு
2 பா. அ. = இரண்டாவதாகப் பாதிக்கும் அம்சம்
1 உ. அ. = உச்ச அளவு
முதல் பா. அ. = முதல் பாதிக்கும் அம்சம்
கு = குறைந்த அளவு

கையின் உச்ச நிலையைக் காட்டுகின்றது. மேலும், இதன் வேகம் ஒவ்வோர் அம்சத்தினாலும் பாதிக்கப்பட்டதைப் பார்த்தோம்.

வெப்ப நிலையை மீண்டும் ஆராய்ந்தால், மிகையான தட்ப நிலையோ அல்லது வெப்ப நிலையோ உயிரியலின் முக்கிய ஊக்கி

களான புரதங்களைப் பாதிக்கின்றன என அறிவோம். இதனுல் ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகம் குறைந்துகொண்டே செல்கின்றது. இறுதியில் கணக்கிட முடியாத அளவிற்குக் குறைந்துவிடும்.

பிளாக்மேனின் கோட்பாட்டில் ஒரு குறை காணப்பட்டது. உயரச் செல்லும் அம்சத்தின் நிலையையும், அதனுடன் ஒட்டி உயரச் செல்லும் ஒளிச்சேர்க்கையின் வீதத்தையும் கொண்டு ஒரு வரை கோடு வரைகையில், அந்த வரைகோடு ஒரு வரம்பிடும் மட்டத்தை அடைந்தவுடன், பிளாக்மேன் கூறியதுபோலக் கிடைமட்டம் ஆகி விடுவதில்லை என்று ஹார்டரும் (Harder) ஜேம்ஸும் (James) கண்டு பிடித்தனர்.

அந்த வரைகோடு நிதானமாக வளைந்து கிடைமட்டத்திற்கு ஓரளவு சமாந்திரமாகிறது என்பதே அவர்கள் கண்டு பிடித்த தாகும்.

பௌதீக சம்பந்தமான அமைப்பில், ஒரு நிலையிலிருந்து மற்றொரு நிலைக்கு மாற்றம் ஏற்படும்போது, அது திடீரென நிகழ லாம். ஆனுல் உயிர் சம்பந்தமான நிகழ்ச்சிகளில் நிதானமான மாற்றங்களே நிகழ்கின்றன.

எனவே பிளாக்மேன் கோட்பாட்டினை இந்தக் கண்ணோட்டத் துடன் ஏற்கலாம் எனக் கருதப்படுகின்றது. அண்மையில் மேலும் சில மாறுபாடுகள் செய்யப்பட்டுள்ளன.

ஒவ்வொரு அம்சங்களின் முழு அளவுகளைக் குறிப்பிடாமல். மொத்தத்தில் ஒவ்வொன்றின் விகிதாசாரத்தையே (Relative magnitude) குறிப்பிடவேண்டும் என்று கருதப்படுகின்றது.

சான்ருக, ஒரு தாவரத்திற்கு 20 அலகு ஒளியும், 2 அலகு கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும் தேவைப்படுகிறது எனக் கொள்வோம். இதில் குறைந்த அளவில் காணப்படும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு வரம்பிடும் அம்சமாகிறது. இந்த அளவு கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடே இங்கு ஒளிச் சேர்க்கைக்குப் போதுமானதாகிறது. எனவே இந்த அலகு மொத்தத்தில் குறைந்ததேயன்றி, வரம்பிடும் நிலைக்குக் குறைந்த அளவாகாது. மேற்கண்ட கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செறிவு இன்னும் குறைந்தால்தான் அது ஒளிச் சேர்க்கையின் வேகத்திற்கு வரம்பிடும் அம்சமாகும்.

எனவே வரம்பிடும் அம்சம் என்பதற்குப் பதிலாக, "விகிதா சாரத்தில் குறைந்த பட்ச அம்சம்" (Factor in relative minimum) என்ற சொற்றொடர் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

சூழ்நிலை அம்சங்கள்

ஒளி: உயிரியலின் ஆக்கமே ஒளியாகும்.

கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஒளியே தாவரங்களில் ஒளிச் சேர்க்கையை நிகழ்த்துகிறது என்றும், உயிரியலனைத்திற்கும் ஊன்று கோல் போன்ற உன்னதக் கிரியை அதுவென்றும் கண்டோம்.

இத்தகைய ஒளியின் தன்மை, தீவிரம், கிடைக்கும் காலம் எனப்படும் பல்வேறு விவரங்களை நாம் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

நிறமிகள் ஒளியை ஈர்க்கின்றன என்று முன்னரே அறிந்தோம். ஒளியை மிகுதியாகப் பெறுவதற்கென, இலைப் பரப்புக்கள் ஒளிபடும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இலையின் புறத் தோலுக்கு அருகாமையிலேயே பச்சையம் ஏராளமாகவுள்ள பாலிஸேட் பாரன்கைமா திசுக்கள் அமைந்துள்ளன. தாவரம் தன் மேல் படும் ஒளியில் ஒரு பகுதியைத்தான் பயன்படுத்திக் கொள்கின்றது. அது பூமியின்மேல் படும் ஒளியில் 0·24% என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது.

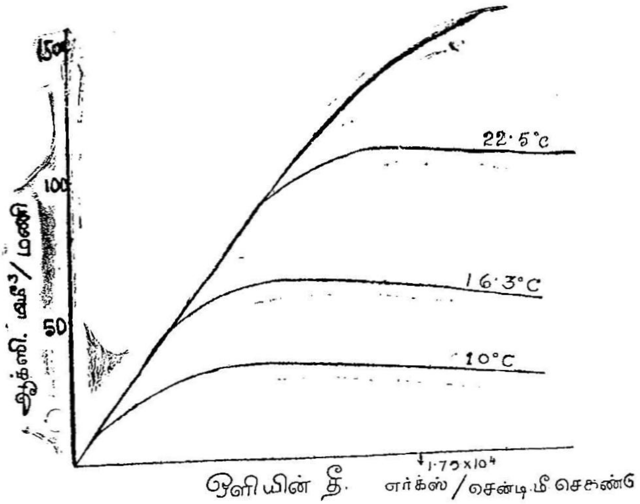
ஒவ்வொரு நிறமிக்கும் ஓர் ஈர்ப்பு நிறமாலை (Absorption Spectrum) உண்டென அறிவோம்.

பச்சையம் a-யும் b-யும் (ஒளி அலைகளில்) நீல, சிவப்பு ஒளி அலைகளை மிகுதியாக ஈர்த்துக்கொள்கின்றன. பச்சை ஒளி அலைகளைப் பிரதிபலிக்கின்றன (இதனால்தான் தாவரங்கள் பச்சையாகத் தோன்றுகின்றனவென்று அறிவோம்).

ஒளியின் தீவிரம் (Intensity of Light)

ஒளியின் தீவிரம் ஒளிச் சேர்க்கையைப் பாதிக்கும். இதற்கு மற்ற அம்சங்கள் வரம்பிடாத நிலையில் இருக்க வேண்டும்.

வெப்பம் மிகுந்த கோடை காலத்தில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செறிவு (குறைந்து) வரம்பிடும் அம்சமாகிறது. மப்பும் மந்தா



படம் 6.17. ஒளியின் தீவிரமும் ஒளிச்சேர்க்கையும்

ஆக்ஸி. = ஆக்ஸிஜன்
ஒளியின் தீ. = ஒளியின் தீவிரம்

ஒளியின் தீவிரம் அதிகரிக்கும்போது ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகமும் அதிகரிக்கின்றது. பல வெப்ப நிலைகளில் ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகமும் பல மாற்றங்களை அடைகின்றது.

ரமுமாகவுள்ள காலங்களில் ஒளியின் தீவிரம் குறைவதால் அது வரம்பிடும் அம்சமாகிறது.

கோடைக்கால தீவிர ஒளியில் கால் பகுதி கிடைத்தால்கூட, சோளத் தாவரங்களுக்கு, ஒளிச்சேர்க்கை புரிய போதுமானதாகிறது. அது 2500-லிருந்து 3000 ஃபுட்காண்டில் ஒளிக்குச் சமம் என்று குறிப்பிடுகின்றனர்.

ஆனால் தாவரங்களிடையே இந்த ஒளித் தீவிர அலகு வேறுபடுகின்றது. நிழலிலேயே வளரும் தாவரங்களுக்குக் குறைந்த ஒளியே கிடைக்கின்றது. ஆனால் அந்த அளவு ஒளியே அவற்றிற்குப் போதுமானதாகிறது. சில, பெரும் பகுதி, சூரிய ஒளி படும்படி வளரும் தாவரங்களாகின்றன. இவற்றிற்கு அதிகத் தீவிர ஒளி தேவை?

ஒளியின் தீவிரம் அதிகமாகும்போது அதன் ஆக்ஸீகரண சக்தியும் அதிகமாகிறது. பச்சையம், இங்ஙனம் அதிகமான தீவிர ஒளி

யால் கிளர்த்தல் அடைந்து, செல்களை ஆக்ஸீகரணித்து விடுகின்றது. இந்த நிகழ்ச்சியை ஒளி ஆக்ஸீகரணம் (Photo oxidation) என்கின்றனர்.

ஒளியின் தீவிரத்தினுல் அதிக எண்ணிக்கைப் பச்சைய மூலக்கூறுகள் கிளர்த்தப்படுகின்றன. ஆக்ஸிஜனும் அங்கு காணப்படுமேயாஞல் நிறமிகள் வெளிரிப்போய், நொதிகளும் செயலிழக்கின்றன.

நொதிகள் புரதங்களாலானவை என்று அறிவோம். உயர்ந்த வெப்பநிலை புரதங்களுக்கு ஒவ்வாது என முன்னரே கண்டோம்.

தாமஸ் என்பவர் இந்த ஒளித் தீவிரத்தினுல் புரத உற்பத்தி தடைபடுவதைக் கண்டு பிடித்தார்.

கரோடினுய்டுகள் (Carotenoids) ஒளி ஆக்ஸீகரணத்தைத் தவிர்க்கின்றன. இவை குறைந்து காணப்படும்போது ஒளி ஆக்ஸீகரணம் தடையின்றி நிகழும். கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செரிவும் ஒளித் தீவிர நிகழ்ச்சிகளுக்கு முட்டுக்கட்டையாகிறது.

ஜெஸ்னர் என்பவர் இலோடியா (Elodea) தாவரத்திலும் மிட்செல், போஹ்னிங் என்பவர்கள் உயர் தாவரங்களிலும் நிகழ்த்திய பரிசோதனைகளில், இடைவிடாது கிடைக்கும் ஒளியில் ஒளிச்சேர்க்கை நிகழ்கிறது என்றும், இதனுல் தாவரங்கள் பாதிக்கப்படுவதில்லை என்றும் கண்டனர்.

கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு

கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செரிவு, காற்றின் பரிமாணத்தில் $\frac{3}{10,000}$ பகுதியாகும். எனவே கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு காற்றில் மிகக் குறைவான அம்சமாகும்.

கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு பெரும்பாலும் இலைத் துளைகள் வழியாக உட்செல்லுகின்றன. கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செரிவு (0·03%) ஒரு சிறிது அதிகமாஞலும் இலைத் துளைகள் மூடிக்கொள்கின்றன என்று அறிவோம். ஒளி, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செரிவினைக் குறைக்கின்றது. இது ஒளிச்சேர்க்கை என்னும் நிகழ்ச்சியில் சாத்தியமாகும்.

தாவரங்கள் மற்ற உயிரிகளைப்போல், சுவாசித்தலின்போது கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை வெளி விடுகின்றன. அதே தாவரங்கள், ஒளிச் சேர்க்கையின்போது கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை உள் எடுத்துக்கொள்ளுகின்றன என அறிவோம்.

ஒளிச் சேர்க்கையால் வானவெளி மண்டலத்தின் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செரிவு குறைந்துவிடுமோ என ஐயுறவேண்டிய தில்லை. ஆழிசூழ் உலகில் ஆழ்கடலே பெரும் பகுதியாகும். அங்கு உயிர்வாழ் தாவரங்களும், விலங்குகளும் சுவாசித்தலில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை வெளிவிடுகின்றன. மேலும் அங்கு மிகுதியாகக் காணப்படும் சுண்ணும்புக் கற்கள் சிதைத்து கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு வெளிவரலாம். பூமியின்மேல் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செரிவு குறைந்தவுடன் கடலிலிருந்து இங்ஙனம் வெளிவரும் வாயு அதனை சரிக்கட்டி விடுகின்றது.

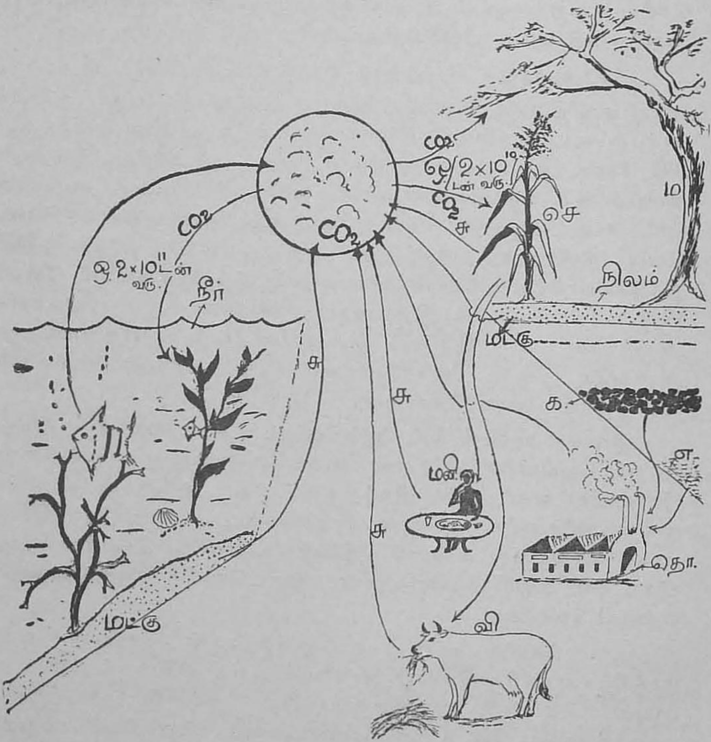
ஒளிச்சேர்க்கை ஏராளமாக நிகழ்ந்த காலம் எனக் கருதப்படும் கார்போனிபெரஸ் (Carboniferous) காலத்தில் பெரும் அளவில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு நிலைப்படுத்தப்பட்டிருக்கவேண்டும். இது 300 கோடி ஆண்டுகளுக்கு முற்பட்டது. ஈரக் காற்று, இன்றைய கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செரிவைவிட 300 மடங்கு அதிகமான கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும் கொண்ட சூழ்நிலையில், ஒளிச்சேர்க்கை வெகு தீவிரமாக நிகழ்ந்தது. அத் தாவரங்களில் மேற்கண்ட நிகழ்ச்சியால், மிகுதியான கார்பன் கூட்டுப் பொருள்கள் தோன்றின. காலப்போக்கில் இத்தகைய தாவரங்கள் சதுப்பு நிலங்களில் அழுந்திவிட்டன. இதனுல் இவை சிதைவுருமல் காக்கப்பட்டன. அவையே இன்று நிலக்கரியாகவும் (Coal), எரிஎண்ணெயாகவும் (Petroleum) பயன்படுகின்றன.

இலைகள் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை உள்எடுக்கும் வேகத்தைப் பற்றிய ஆய்வினை பிரௌன் (Brown) என்பவரும் எஸ்கோம்ப் (Escombe) என்பவரும் நிகழ்த்தினர். 380 மைக்ரான்கள் விட்ட முள்ள துளைகளின் வழியாகக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு அதிவேக மாகச் செல்கிறது என்றும், இலைத் துளைகள் ஒவ்வொன்றிற்கும் இடையே 3800 மைக்ரான்கள் இடைவெளி இருக்கவேண்டும் என்றும் கண்டனர்.

தாவரங்களில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செரிவை அதிக மாக்கிக்கொண்டே சென்று, அதனைப் பூரித நிலைக்குக் (Saturated State) கொண்டு வருவதைப்பற்றிய ஆய்வினை நடத்தினர். தாவரங்களிடையே உருவ மாற்றங்களும் வேதியியல் மாற்றங் களும் காணப்படுவதால், அவைகளில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செரிவு ஒரே பூரித நிலையை அடைவதில்லை.

பெரும்பாலும் உடலியல் வினைகளின் வரம்பிற்குட்பட்ட கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செரிவே உசிதமானதாகிறது. சில தாவரங்களில், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்தலுக்குத் தேவையான நொதிகள் அதிகமாக உள்ளன. சிலவற்றில் இவை எண்ணிக்கையில் குறைந்து காணப்படலாம்.

சிறந்த பட்ச ஒளிச்சேர்க்கைக்குத் தேவையான Co_2-ன் செரிவு எல்லாவற்றிற்கும் ஒத்திருப்பதில்லை. குளோரெல்லா, ஸினிடிஸ்மஸ் (Chlorella, Senedesmus) போன்ற தாவரங்களை, ஒளிச்சேர்க்கையைப் பற்றிய ஆய்வுகளில் பயன்படுத்தினர் என்பதை அறிவோம். இவைகளுக்கு அளித்த கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செரிவு அதிகமாகக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. ஆனால் இவை, அந்தச் செரிவைத் தாங்கும் சக்தி வாய்ந்தவையாக உள்ளன.



படம் 6.18. இயற்கையில் கார்பன் சுழல்

ஒ = ஒளிச்சேர்க்கை	க. = கரி
வரு. = வருடம்	எ. = எண்ணெய்
செ. = செடி	தொ. = தொழிற்சாலை
ம. = மரம்	வி. = விலங்கு
மனி. = மனிதன்	சு. = சுவாசித்தல்

ஒளிச்சேர்க்கை, மொத்தத்தில் நீரில் வளர்த் தாவரங்களினால்தான் அதிகமாக நிகழ்கின்றது. ஏனெனில் நீர்ப்பகுதிதான் உலகில் அதிகம்.

உயர் தாவரங்களிலோ இந் நிலையில்லை. அதிகமான கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செறிவு தீங்கையே விளைவிக்கின்றது. தக்காளிச் செடியின் இலைகளில், மிகுதியான கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செறிவு, 'புண்களையே' ஏற்படுத்துகின்றது. இவற்றிற்கு நெக்ராஸிஸ் (Necrosis) என்று பெயர்.

ஒரு சில சமயங்களில், ஒரு செல் தாவரங்கள் உருவத்தால் எளியனவாயினும், உயர் தாவரங்களைப்போல் * சூழ்நிலையால் பெரிதும் பாதிக்கப்படுவதில்லை. *எளிய அமைப்புடைய, கலந்து வாழும் கூட்டுயிரிகளான (Symbionts) லைகின்களையும் இங்கு நினைவு கூறுக. லைகின்களின் (Lichens) அமைப்பில் எளிய உருவமுடைய ஆல்ஜி எனப்படும் பாசிகளும், பூஞ்சைகளும் காணப்படுகின்றன. குளிர் மிகுந்த தூந்திரப் பிரதேசத்திலும், வெப்பம் மிகுந்த பாலை இவைகளிலும், பற்றுக்கோடில்லாத பாறைகளிலும் முதன் முதல் முளைத்து, வளர்கின்றன; வாழ்கின்றன. தாவரங்களின் வெளிப்புறத்திற்கு மேலுள்ள காற்று மண்டலத்தில், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செறிவு, பகலிலும் இரவிலும் மாற்றமடைவதை வெர்டுயின் (Verduin) என்பவரும் லூமிஸ் (Loomis) என்பவரும் கண்டுபிடித்தனர்.

கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்தும் நிகழ்ச்சி பகலில் நிகழ்வதால், அச் சமயங்களில் அதன் செறிவு குறைந்து காணப்படுகிறது. இரவில் ஒளிச்சேர்க்கை நிகழ்வதில்லை. சுவாசித்தலே நிகழ்கின்றது. இந் நிகழ்ச்சியில் வெளிவரும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடால் வெளிப்புறத்திலுள்ள கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செறிவு அதிகமாகிறது.

ஒவ்வொரு இடத்திலும் உள்ள கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செறிவு, அதன் கடல் மட்டத்திற்கு மேலுள்ள உயரத்தைப் பொருத்தது.

கடல் மட்டத்தில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செறிவு $\frac{3}{10,000}$ பகுதியாகும். கடல் மட்டத்திற்குமேல் உயரச் செல்லச்செல்ல கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செறிவும் குறைகிறது. ஆல்பைன் (Alpine) தாவரங்கள் கடல் மட்டத்திற்கு வெகு உயரத்தில் வளர்வன. முன் கண்டபடி கணக்கிடலாம், ஆல்பைன் தாவரங்கள் வளரும் பகுதிகளில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் செறிவு குறைந்து காணப்பட வேண்டும். இதனால் ஒளிச்சேர்க்கையும் பாதிக்கப்பட வேண்டும். அதற்கு மாறாக, இத் தாவரங்களில் ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகம் வெகு அதிகமாகக் காணப்படுகின்றது என்று ஜே: டாலிங் (J. Talling 1961) என்பவர் குறிப்பிட்டார்.

குறைந்த செறிவுள்ள கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடில் வெகு தீவிர மான ஒளிச்சேர்க்கை நிகழ்வது எங்ஙனம்? இது ஒரு புதிராகவே உள்ளது.

உயிர் வேதியியல் நிகழ்ச்சிகளின் தனிச் சிறப்பு, அவை மிதமான வெப்ப நிலையில் (45° சென்டி) நிகழ்வதே என்று அறிவோம். இதற்கு முக்கிய காரணம் என்னவெனில், நொதிகள் வளர்சிதை மாற்றங்களுக்கெல்லாம் ஊக்கமளிக்கின்றன. நொதிகள், புரதங்கள் எனப்படும் அங்ககப் பொருள்களாகும். புரதங்கள் அதிக வெப்ப நிலையில் (60° சென்டி கிரேடுக்குமேல்) செயலற்றுப் போகின்றன என்பதும் தெரிந்ததே.

ஒளிக் கிரியையினைத் தொடர்ந்து நிகழும் வேதியியல் மாற்றங் களுக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வெப்பம் தேவைப்படுகிறது.

ஒளிச் சேர்க்கை மிகக் குளிர்ந்த நிலையிலும் நிகழ்வதில்லை. இத்தகைய நிலையினால் ஏற்படும் தீங்குகள் பின்வருமாறு.

1. கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை நிலைப்படுத்தலில் பங்கு கொள்ளும் நொதிகளின் செயல் நிதானமாகி விடுகிறது.
2. நீர் உறைந்து "உறை படிகங்கள்" தோன்றுவதால் ஸைடோபிளாஸம் தன் நீரை இழக்கிறது.
3. நீர் உறைந்து, உறைபடிகங்கள் தோன்றும் செல் லின் அமைப்பு சிதைவுறுகிறது.
4. செல்லின் அமைப்பு சிதைவுறுகையில் சவ்வுகளின் உறிஞ்சும் தன்மை பாதிக்கப்படுகின்றது. (சவ்வுகள் ஸைடோபிளாஸத்திலும், என்டோபிளாஸ்மிக் வலை களிலும், மைட்டோகோன்ட்ரியா, நியூக்ளியஸ் முதலியவற்றின் உறைகளாகவும், இருத்தலை நினைவு கூறுக).

மிகக் குளிர்ந்த நிலையில் மேற்கண்ட முறையில் பாதிக்கப் படுவதைப்போன்று, மிகுந்த வெப்பநிலையிலும் ஸைடோபிளாஸம் செயலற்று உயிரிழக்கிறது.

எனவே உசிதமான அளவில் வெப்பம் தேவைப்படுகிறது. வெப்பநிலையைத் தவிர, மற்றுமுள்ள அம்சங்களான ஒளி, கார்பன் டை-ஆக்ஸைடு போன்றவை, போதிய அளவு கிடைக்கும்போது (அவை வரம்பிடு அம்சங்களாக இல்லாத நிலையில்), வெப்பநிலையை உயர்த்தினால் ஒளிச்சேர்க்கையின் தீவிரத்தை அதிகரிக்கலாம்.

ஆக்ஸிஜன் செறிவு

காற்றின் கொள்ளளவில் ஐந்தில் ஒரு பங்கு ஆக்ஸிஜனைக் கொண்டிருக்கிறது. ஆக்ஸிஜன் சுவாசித்தலுக்குத் தேவைப்படு கின்றது என்று அறிவோம். உணவுப் பொருள்களில் ஆக்ஸிஜனில் எரிந்து சக்தி வெளிப்படுகிறது. எனினும் சுயேச்சையான ஆக்ஸிஜன், கார்பனை அடிப்படையாகக்கொண்ட உயிரினங்களை அழிக்கும் தன்மையுள்ளது. (கார்பனைத் தவிர ஏனைய பொருள்களை அடிப்படையாகக் கொண்ட உயிரிகள் இவ்வுலகில் இல்லையே!) சில உயிரிகள் தம் ஆக்ஸிகரண நிகழ்ச்சிகளில் ஆக்ஸிகரணியின் தேவையில்லாமலேயே இயங்குகின்றன. இவற்றைக் காற்றின்றி வாழ் உயிரிகள் என அழைக்கிறோம்.

காற்றிலுள்ள குறைந்த 21% ஆக்ஸிஜன் செறிவு கோதுமைச் செடிகளின் ஒளிச்சேர்க்கையைப் பாதிக்கின்றனவென்று மக் அலிஸ்டர் (Mc Alister) மையர்ஸ் (Myers) என்ற இருவர் கண்டு பிடித்தனர்.

ஆனால் குளோரெல்லா தாவரத்தில் சாதாரணக் காற்றிலுள்ள ஆக்ஸிஜன் ஒளிச்சேர்க்கையைப் பாதிப்பதில்லை என்று கண்டு பிடித்தனர்.

ஒளிச்சேர்க்கையை ஆக்ஸிஜன் செறிவு எங்ஙனம் தடை செய்கின்றது ?

இந்த வினாவிற்கு விளக்கம் காண முயல்வோம்.

உயிர் வேதியியல் மாற்றங்களில் ஆக்ஸிஜன் பங்கு என்ன? அது சுவாசித்தலில் பங்குகொள்ளும் ஆக்ஸீகரணி. ஆக்ஸிஜன் செறிவு அதிகமானால் சுவாசித்தலில் நிகழும் ஆக்ஸீகரணங்கள் விரைவில் நடைபெறும். இதனால் ஒளிச்சேர்க்கைக்குத் தேவை யான இடைப் பொருள்கள், ஆக்ஸீகரணிக்கப்பட்டு, கிடைக்காமல் போய்விடலாம்.

சுவாசித்தலில், ஆக்ஸிஜன், உணவுப் பொருள்களிலுள்ள ஹைடிரஜன்களை ஏற்கிறது. ஒளிச்சேர்க்கையில், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு, ஹைடிரஜனை ஏற்கிறது. ஆக்ஸிஜன் அச் சமயம் அதிக மாகக் கிடைத்தால், ஆக்ஸிஜனுக்கும் ஹைடிரஜனுக்கும் இடையே உள்ள கவர்ச்சியால், O_2H_2-னுடன் சேரலாம். இதனால் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு நிலைப்படுத்தலில் பங்குகொள்ளும் நிகழ்ச்சிகள் நிகழாமல் நின்றுவிடலாம்.

ஆக்ஸிஜன் சூழ்நிலையில், கிளர்த்தப்பட்ட பச்சைய மூலக்கூறுகள் தம் ட்ரிப்லெட் நிலையை (Triplet State), இழந்து விடுகின்றன. ட்ரிப்லெட் நிலை ஒளிக்கிரியைக்குத் தேவைப்பட்ட முக்கிய அமைப்பு என்று முன்னரே பார்த்தோம். ‘நீரின்றியமையாது உலகு’, என்ற முதுமொழியில், உலகத்திலுள்ள அனைத்துயிரின் வாழ்க்கைக்கு நீர் இன்றியமையாதது என, சுருங்கச் சொன்னதை அறிக.

ஒளிச்சேர்க்கையை, நீர் இன்மை, எவ்வாறு பாதிக்கின்றது எனக் காண்போம். ஒளிச்சேர்க்கைக்குத் தேவைப்படும் நீரின் அளவு, மிகக் குறைந்தது எனக் கணக்கிட்டுள்ளனர். தாவரங்கள், தாம் உட்கொள்ளும் நீரில், ஒரு சத வீதத்தைத்தான் (1%) ஒளிச்சேர்க்கைக்குப் பயன்படுத்துகின்றன.

தண்ணீர் தட்டுப்பாடுள்ள நிலத்தில் வளரும் தாவரங்களில் ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகம் வெகுவாகக் குறைவதை, ஆப்பிள் மரங்களில் நிகழ்த்திய சோதனைகளில், ஷ்னீடர் (Schneider) சைல்டெர்ஸ் (Childers) என்ற இருவர் கண்டனர். படிப்படியாக வறட்சியடைந்த நிலத்தில், ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகம் முன்னிருந்ததைவிட 50 சத வீதம் குறைந்து காணப்பட்டது.

இந்த நிலைக்குக் காரணம், ப்ரோடோபிளாஸமும், இலைத் துளைகளும் பாதிக்கப்படுதலேயாகும். ப்ரோடோபிளாசத்தின் நீரின் அளவு குறைந்து விடுவதால், வேதியியல் கிரியைகள் தடைபடுகின்றன. நீர்த் தட்டுப்பாட்டினால் இலைத்துளைகள் மூடிக்கொள்கின்றன.

ரேபினோவிட்ச் (Rabinowitch) என்பவரின் கருத்துப்படி சுவாசித்தலைவிட ஒளிச்சேர்க்கையே நீரின்மையால் அதிகம் பாதிக்கப்படுகின்றது.

தாவர அம்சங்கள்

இலைகளில் ஒளிச்சேர்க்கை நிகழ்கின்றது. இதனால் இலையின் அமைப்பு ஒளிச்சேர்க்கைக்கு உகந்ததாக இருக்க வேண்டும். இயற்கையாகவே, இலைகளின் அமைப்பும் இதற்கேற்றாற்போலிருக்கின்றது. ஒளிபடும்படி அமைந்த இலைப் பரப்பு, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு உட்புகுவதற்குவேண்டிய இலைத்துளைகள், புறத்தோலை ஒட்டி அமைந்த, பசுங் கணிகங்கள் நிறைந்த, பாலிஸேட் திசு (Palisade tissue), நீரைக் கொண்டுள்ள ஸைலம் திசுக்கள் மேற்கண்ட திசுக்களுக்கு நடுவே வலைபோல் வியாபித்திருத்தல், அனைத்துமே ஒளிச்சேர்க்கைக்கு உகந்த சாதனங்களாகின்றன. எனினும், இவைகளின் உருவம், காணப்படும் இடம், அளவு,

அமைப்பு, முதலிய அம்சங்களில் ஏற்படும் குறைகளினுல் ஒளிச் சேர்க்கை பாதிக்கப்படுகின்றது.

சூழ்நிலே அம்சங்கள் சரிவர இருந்தபோதும் ஒளிச்சேர்க்கையில் தடையிருக்குமாஞல், அது தாவரத்தின் அமைப்பிலுள்ள குறையையே சார்ந்ததாகும்.

உயிர்வேதியியல் நிகழ்ச்சிகளில் நொதிகள் என்னும் அங்ககப் பொருள்கள் ஊக்கிகளாகின்றன என்று அறிவோம். ஒரு நொதியின் கிரியையின் முடிவில் உண்டாகும் முடிவுப் பொருள்கள் உடனுக்குடன், அங்கிருந்து அப்புறப்படுத்தப்படவில்லேயெனின் அது நொதியின் செயலேத் தடை செய்கிறது என்றறிந்தனர். எனவே ஒளிச் சேர்க்கையில் நிகழும் கிரியைகள் தங்கு தடையின்றி நிகழத் தேவைப்படும் எல்லா நொதிகளும், கிடைக்கும் வகையில் காணப்பட வேண்டும். இதஞல், முதல் கிரியையில் உற்பத்தி செய்யப்பட்ட பொருள், இரண்டாம் கிரியையால் அகற்றப்படுகிறது.

7. ஒளிச்சேர்க்கையைப்பற்றிய ஆய்வின் வரலாறு

ஒளியுடன் தம் வாழ்க்கையை இணைத்துப் பயன் அடைந்தவை தாவரங்களேயாகும். ஒளியுடன் இயைந்த இந்த வாழ்வியலே, ஒளிச்சேர்க்கை என்னும் கிரியையாகும்.

1898-ல்தான் ஒளிச் சேர்க்கை என்ற பெயர் அறிமுகப்படுத்தப் பட்டது.

ஆனால் மேயர் 1845-லேயே, பசுந் தாவரங்களில் நிகழும் சக்தி மாற்றங்கள் (Energy Conversions) தனிப்பட்ட வகையைச் சேர்ந்தவை எனக் கண்டார்.

பல ஆண்டுகளாக ஒளிச் சேர்க்கையை சுவாசித்தலில் நிகழும் நிகழ்ச்சியைக் குறிக்கும் சமன்பாட்டைப் பின்னேக்கி எழுதுவதற் குச் சமமாகக் கருதி வந்தனர்.

சுவாசித்தலின் சமன்பாடு :

$C_6H_{12}O_6$	+	$6O_2$ ⟶	$6\ Co_2$	+	$6\ H_2O$
குளூகோஸ்		ஆக்ஸிஜன்	கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு		நீர்

ஒளிச்சேர்க்கையின் சமன்பாடு

$6\ Co_2$	+	$6\ H_2O$ ⟶	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2$
கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு		நீர்	குளூகோஸ்

இந்தச் சமன்பாட்டின் வாயிலாக நாம் ஒளிச்சேர்க்கை என்னும் நிகழ்ச்சி எங்ஙனம் நடைபெறுகிறது என்று அறிய முடியாது.

ஒளிச்சேர்க்கை என்று கூறுவதால், ஒளியின் பங்கு இதில் பெறப்படுகின்றது.

17ஆம் நூற்றுண்டில் (1648) வான் ஹெல்மான்ட் (Van Helmont) நிகழ்த்திய சோதனையைக் காண்போம். அவர் வில்லோ (Willow) தாவரத்தின் கொப்பு ஒன்றைத் தேர்ந்தெடுத்தார். அதனுடைய எடையைக் கணக்கிட்டார். பின்னர் 5 வருடங்கள் கழித்து மறுமுறை அதனை நிறுத்தார். எடை பன்மடங்கு கூடியிருந்தது. அச் சமயம் அவர் ஒளிச் சேர்க்கையைப்பற்றி அறிந்தாரில்லை. மேற் கண்ட நிகழ்ச்சிக்குக் காரணம் நீரே என்று குறிப்பிட்டார்.

ஒளிச்சேர்க்கையென்னும் நிகழ்ச்சியால் தான் உணவுப் பொருள்கள் அனைத்தும் உருவாகின்றன. இதனால் தாவரம் வளருகிறது என இன்று நாம் அறிவோம்.

18ஆம் நூற்றுண்டின் துவக்கத்தில் (1772) பிரீஸ்ட்லீ (Priestly) என்பவர் தற்செயலாக ஒளிச்சேர்க்கையின் தத்துவத்தைக் கண்டு பிடித்தார். தாம் கண்ட உண்மையைப்பற்றி அன்னார் கூறியது: ''மெழுகுவர்த்தியால் சேதமடைந்த காற்றை எங்ஙனம் தூய்மையாக்குவது என்பதை, நான் தற்செயலாகக் கண்டுபிடித்தேன். இயற்கை இதற்கென வைத்துள்ள சாதனங்களில் ஒன்று, தாவரம்.''

இதனால், காற்றில் மெழுகுவர்த்தி எரிந்து, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு உண்டாதலும் தாவரங்கள் ஒளிச்சேர்க்கைக்காக இதனை உட்கொண்டு ஆக்ஸிஜனை வெளிவிடுதலும் பெறப்பட்டது.

1779-ல் இன்ஜென் ஹௌஸ் (Ingen Housz) தாவரவியலில் நிகழும், முன்னுக்குப்பின் முரணான இரு செயல்களைக் கண்டுபிடித்தார். சூரிய ஒளியில், தாவரங்கள் காற்றைத் தூய்மையாக்குகின்றனவென்றும், இரவின் இருளில், ஒளிச்சேர்க்கை நிகழாததால், சுவாசித்தலை மட்டும் செய்து, காற்றின் தூய்மையைக் கெடுக்கின்றன என்றும் கண்டார்.

1782-ல்தான் ஸினிபீயர் (Senebier) தாவரங்கள் சூரிய ஒளியில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை உட் கொள்வதைக் கண்டு பிடித்தார்.

1837-ல் டுட்ரோசே (Dutrochet) ஒளிச் சேர்க்கைக்கு, நிறமியான, பச்சையம் தேவைப்படுவதைக் காட்டினர்.

19ஆம் நூற்றுண்டின் துவக்கத்தில் மேற்கண்ட தத்துவங்களெல்லாம் ஒருங்கே திரண்டு ஒரு திட்டமான உருவெடுத்தன.

அதன் பயனுக, ஒளிச் சேர்க்கை என்றெரு நிகழ்ச்சி தாவரங்களில் நிகழ்வதாகவும், அதற்கு சூரிய ஒளியும் பச்சையமும் தேவைப்படுவ தாகவும், ஒளிச்சேர்க்கையின்போதுதான் ஆக்ஸிஜன் வெளிப்படு கிறது எனவும் அறிந்தனர்.

ஒளிச்சேர்க்கை என்னும் வளர்மாற்றம் பசுந் தாவரங்கள், ஆல்ஜி பாசிகள் போன்றவற்றில் மட்டுமின்றி ஒரு சில பாக்டீரியாக் களிலும் காணப்படுகிறது. எனவே இவை மூன்றையும் ஒருங்கே ஃபோட்டோட்ராஃப்கள் (Phototrophs) என அழைக்கின்றனர்.

ஒளிச்சேர்க்கை புரியும் பாக்டீரியாக்களை அவற்றின் நிறத்தைப் பொறுத்து இரு வகைகளாகப் பிரிக்கின்றனர்; அவை பச்சை, பர்பிள் (Purple) பாக்டீரியாக்கள் எனப்படுகின்றன.

இவைகளிலும் பச்சையம் காணப்படுகிறது. அது பாக்டீரியோ குளோரோஃபில் எனப்படும் என்று முன்னரே கண்டோம். பர்பிள் பாக்டீரியாக்கள், வெளிரிய சாம்பல் பூத்த நீல நிறத்தில் காணப்படு கின்றன. இவைகளில் காணப்படும், மஞ்சள், சிவப்பு நிறமளிக்கும் கரோடினுய்டுகளே இதற்குக் காரணமாகின்றன. ஆனுல் பச்சை பாக்டீரியாக்களில் காணப்படும் பச்சையத்தினை மஞ்சள் நிறத்தில் காணப்படும் கரோடினுய்டு நிறமி மறைப்பதில்லை.

பர்பிள் பாக்டீரியாவை மேலும் இரு வகைகளாகப் பிரிக்கின் றனர். சல்ஃபர் பர்பிள், சல்ஃபர் அற்ற பர்பிள் பாக்டீரியா என்று இவைகளை அழைப்பர்.

பச்சை பாக்டீரியாக்களும், சல்ஃபர் பாக்டீரியாக்களும் நிகழ்த் தும், ஒளிச் சேர்க்கைக்குத் தேவைப்படும் பொருள்கள் பின் வருமாறு: ஒளி, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு H_2S போன்ற சல்ஃபர் கூட்டுப் பொருள்களில் ஒன்று.

ஹைடிரஜன் ஸல்பைடை (H_2S) இவை எங்ஙனம் ஆக்ஸீகர ணிக்கின்றனவென்று பார்ப்போம்.

கிரியை 1

முதல் கிரியையில் H_2S, ஒளிச் சக்தியால் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படு கின்றது. இங்குப் பச்சையம் ஒளியை ஈர்க்கும் நிகழ்ச்சியில் பங்கு கொள்கின்றது எனக் கூறத் தேவையில்லை.

ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியின் விளைவாக சல்ஃபர் வீழ்படிவாகிறது கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு குறைத்தல் அடைகிறது, நீரும் உண்டா கிறது.

ஒளி

கிரி. 1. $H_2S+\frac{1}{2}\,Co_2 \longrightarrow S+\frac{1}{2}\,(CH_2O)+\frac{1}{2}H_2O$

ஹைடிரஜன் ஸல்பைடு + கார்பன் டை ஆக்ஸைடு → சல்ஃபர் + கார்பன் கூட்டுப் பொருள் + நீர்

கிரியை 2

இந்தக் கிரியையின்போது, சல்ஃபரும், நீரும், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும் வினைபுரிகின்றன. இந்நிகழ்ச்சியிலும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு குறைக்கப்படுகின்றது.

ஒளி

$$S+2\tfrac{1}{2}H_2O+1\tfrac{1}{2}\,Co_2 \longrightarrow So_4^{2-}+1\tfrac{1}{2}\,(CH_2O)+2H^+$$

சல்பேட்டு புரோட்டான்

இங்குக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடைக் குறைப்பதற்கு சக்தி தேவைப்படுகிறது. இதற்கு ATP உதவுகிறது.

மேற்கண்ட இரு கிரியைகளின் வாயிலாக நாம் அறிவது என்னவென்ருல், பாக்டீரியாவில் நிகழும் இந்த ஒளிச்சேர்க்கையில் ஹைடிரஜனைக் கொடுப்பானுக (Hydrogen donor) ஒரு பொருள் வினைபுரிகிறது என்பதாகும். இங்குக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடைக் குறைக்கும் சக்தி, H_2S (ஹைடிரஜன் ஸல்பைடு போன்ற பொருள் ஆக்ஸீகரணிக்கப்பட்டு வெளிவரும் ஹைடிரஜனுகும். மேற்கண்ட ஹைடிரஜனைத் தவிர வேறு சல்ஃபர் கூட்டுப் பொருள்களும் இதில் பங்கேற்கலாம். மேற்கண்ட கிரியை 1-ல் உண்டான நீர், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடைக் குறைக்கும் நிகழ்ச்சியில் தோன்றியது.

உயர் தாவரங்களில் நிகழும் ஒளிச்சேர்க்கையைக் கீழ்வரும் சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

ஒளி

$$Co_2+H_2O \longrightarrow (CH_2O)+O_2\uparrow$$

இதனையே இரு கிரியைகளாகக் குறிப்பிடுகையில் கீழ்வரும் மாற்றம் காண்கிரேம்.

கிரியை 1

$$2\,H_2O \longrightarrow 4\,H+O_2\uparrow$$

இந்தக் கிரியையில் நீர், ஹைடிரஜனுகவும், ஆக்ஸிஜனுகவும் பிரிந்ததைக் காணலாம்.

கிரியை 2

$$4\,H + CO_2 \longrightarrow (C\,H_2O) + H_2O$$

இவ்விரண்டையும் ஒரே சமன்பாட்டில் எழுதும்போதும்

$$CO_2 + 2\,H_2O \xrightarrow{\text{ஒளி}} (C\,H_2O) + H_2O + O_2 \uparrow$$

இதனை ஒளிச்சேர்க்கை புரியும் பாக்டீரியாக்களின் செயலோடு ஒப்பிடுகையில் ஒரு சில மாற்றங்களே புலப்படுகின்றன.

$$2\,H_2S + CO_2 \xrightarrow{\text{ஒளி}} 2\,S + (CH_2O) + H_2O)$$

உயர் தாவரங்களில்தான் ஆக்ஸிஜன் வெளியீடு நிகழ்கிறது.

ஸி.பி. வான்நீல் என்பவர் இதனைத் தெளிவுபடுத்தினர். தாவரங்கள் சூரிய ஒளியில் நீரை, ஹைடிரஜன், ஹைடிராக்ஸில் ராடிகல்களாகத் துண்டித்துக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடுடன் சேர்த்து, கார்போஹைடிரேட்டுக்களைத் தயாரிக்கின்றன. ஹைடிராக்ஸில் (OH^-) ராடிகளிலிருந்து ஆக்ஸிஜன் வெளிவருகிறது. பாக்டீரியாக்களில் இந்த நிகழ்ச்சிக்குத் தேவையான நொதிகள் காணப்படாததால், ஆக்ஸிஜன் வெளியாவதில்லை.

பாக்டீரியாக்களின் ஒளிச்சேர்க்கையை ஆய்ந்தால், இந்த நிகழ்ச்சி ஆக்ஸீகரண-குறைத்தல் (Oxidation-reduction) நிகழ்ச்சியென்பது புலப்படும். இதனையே 1923-ல் துன்பெர்க் (Thunberg) குறிப்பிட்டார். உயர் தாவரங்களைவிட, பாக்டீரியாக்களின்மூலம் இதைத் தெளிவாக அறியலாம். ஏனெனில் வேதியியல் ஆய்வில் கிரியை புரியும் பொருள்களைப் பிரித்தெடுத்தபோது அவை H_2S, CO_2 போன்றவை எனக் கண்டனர். கிரியையின் முடிவில் கிடைத்த கூட்டுப் பொருள்களைப் பிரித்தலில், சல்ஃபர், கார்பன் கூட்டுப் பொருள், நீர் முதலியன கிடைத்தன. இங்கு முடிவுப் பொருள்கள் கிரியை புரியும் பொருள்களிலிருந்து வேறுபட்டிருத்தலைக் காண்க. எனவே H_2S ஆக்ஸீகரணிக்கப்படும் நிகழ்ச்சியோடு கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் குறைத்தல் நிகழ்ச்சியும் இணைந்திருக்கின்றதென்பது தெளிவாகியது.

ஒளிச் சேர்க்கையின்போது வெளிவரும் ஆக்ஸிஜன் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடிலிருந்து வருகிறதா அல்லது நீரிலிருந்து வருகிறதா என்ற ஐயம் எழுந்தபோது, ஸி. பி. வான்நீல், நீரே ஆக்ஸிஜனை அளிக்கின்றது என அனுமானித்தார்.

இதனை நிரூபிக்கும் வகையில், ரூபென் (Ruben) நிகழ்த்திய பரிசோதனை அமைந்தது. அவர் கதிரியக்க மூலகங்களைக்கொண்டு ஆய்வுகள் நிகழ்த்தினர். சாதாரண மூலகமாயமைந்த ஆக்ஸிஜனை O^{16} (அதன் எடை 16) என்று குறிப்பிடுவர் என அறிவோம். இந்த ஆக்ஸிஜன் மூலகம் O^{18} எனப்படும் கதிரியக்க மூலகமாகவும் வினை புரியவல்லது. கதிரியக்கத் தன்மை இதற்குச் சிறப்பான அம்சமேயொழிய அத் தன்மை அதன் வேதியியல் கிரியைகளை மாற்றியமைப்பதில்லை. இதனுல் சாதாரண ஆக்ஸிஜனைப்போலவே கிரியை புரிகிறது என்பது பெறப்படும்.

இந்த மூலகத்தை (O^{18}) உபயோகித்துத் தயாரித்த (H_2O^{18}) நீரை, ஒளிச்சேர்க்கை புரியும் தாவரங்களுக்கு அளித்தனர். அப்போது வெளிவரும் ஆக்ஸிஜனை கீஜர் முல்லர் கௌன்டர் (Geiger Muller Counter) என்ற கருவியின்மூலம் ஆய்ந்ததில், வெளிவரும் ஆக்ஸிஜன் கதிரியக்கம் பெற்றிருப்பதாகக் கண்டனர். இதனுல், நீர் ஆக்ஸிஜனை வெளியிட்டது என்பது கண்கூடு.

$$Co_2+2\ H_2O^{18}\xrightarrow{\text{ஒளி}}(CH_2O)+H_2O+O_2^{18})\uparrow$$

இதன் பின்னர் ஒளிச்சேர்க்கையின் ஆய்வில் கண்ட முன்னேற்றம், அதில் நிகழும் கிரியைகளைப் பற்றியதாகும். ஒளிச்சேர்க்கை, இரு கிரியைகளாக நிகழ்கிறது என்று கண்டனர்.

1905-ல் தான் இத்தகையதொரு முடிவிற்கு வந்தனர். அச்சமயம் பிளாக்மேன், ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகத்தைப் பல சூழ்நிலைகளில் அளவிட்டார்.

ஒளியின் தீவிரத்தை அதிகரித்துக்கொண்டே போனுல் ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகமும் அதிகரித்துக்கொண்டு போகும். ஆனுல் ஒளி ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு தீவிரத்தை அடைந்தவுடன் மென் மேலும் ஒளியின் தீவிரத்தை அதிகரித்தலால் பயன் ஏற்படுவதில்லை. இதனுல், முதலில் நிகழ்ந்த நிகழ்ச்சியில் உற்பத்தியான பொருளை, இரண்டாவதாக நிகழும் நிகழ்ச்சியில்தான் உபயோகப்படுத்த வேண்டும் என்பது பெறப்படுகின்றது. இரண்டாவதாக நிகழும் நிகழ்ச்சிக்குத் தேவையான சூழ்நிலை இருப்பின், ஒளிச்சேர்க்கை விரைவில் நிகழ்ந்துகொண்டே யிருக்கும். அத்தகைய சூழ்நிலை இல்லையெனின், ஒளித் தீவிரத்தை எவ்வளவு அதிகரித்தாலும் பயனில்லை.

சான்ருக, நாம் சென்னையிலிருந்து மதுரை செல்கிருேம் எனக்கொள்வோம். இதற்கு, நம் இல்லங்களிலிருந்து ரயில் வண்டி நிலையத்தையடையும் ஒரு போக்குவரத்து சாதனமும், அதன்

பின்னர், குறிப்பிட்ட ரயில் வண்டியும் தேவைப்படுகின்றன. நாம் எவ்வளவு விரைவாக ரயில் நிலையத்தை அடைந்தபோதும், மேற்கொண்டு நாம் மதுரையை அணுகுவது, ரயில் வண்டி கிடைப்பதையும் அதன் வேகத்தையும் சார்ந்தது.

இதனை ஒளிச்சேர்க்கையின் கிரியைகளோடு ஒப்பிட்டுப் பார்க்கலாம். ரயில் நிலையத்தை அடைவதுபோன்ற நிகழ்ச்சி, ஒளிச்சேர்க்கையின் முதல் கிரியையான, சூரிய ஒளியில் நிகழும் கிரியையாகும். ரயில் போக்குவரத்தைப்போன்ற நிகழ்ச்சி, ஒளிக் கிரியையினைத் தொடரும் இருள் கிரியையாகும்.

பயணத்தின் இரண்டாம் பகுதியில் ரயில் வண்டி தேவைப்படுவதைப்போல், இருள் கிரியையின்போது கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும் பல நொதிகளும் தேவைப்படுகின்றன.

1932-ல் எமர்சனும் (Emerson) ஆர்னல்டும் (Arnold) ஒளிச்சேர்க்கையின் திறனை ஆராய்ந்தனர். ஒளிக்கிரியை இருள்கிரியை எனப்படும் இரு கிரியைகளின் வேற்றுமைகளைக் கண்டுபிடித்தனர்.

ஒரு தாவரத்தின்மேல் ஒளியானது 0·0001 செகண்டு நேரமே பிரகாசிக்கும்படி செய்தால், அத் தாவரம் 0·02 செகண்டு வரை இருளில் ஆக்ஸிஜனை வெளிவிடுகின்றது எனக் கண்டுபிடித்தனர். இதனால், ஒரு பிரகாசத்தில் ஆக்ஸிஜனை உற்பத்திசெய்ய, 0·02 செகண்டு கால அளவு இருள் தேவைப்படும் என்பது பெறப்படுகின்றது. மேலும் இந்தப் பரிசோதனையில் இருள் கிரியை, ஒளிக் கிரியையைவிட நிதானமாக நிகழ்வது தெளிவாகின்றது.

இதைத் தவிர இந்தப் பரிசோதனையின் வாயிலாக, ஒரு மூலக்கூறு ஆக்ஸிஜனை வெளிவிடுவதற்கு 2000 பச்சைய மூலக் கூறுகள் தேவைப்படுகின்றனவென்றும் கண்டுபிடித்தனர்.

ஜேம்ஸ் ஃப்ரேன்க் (James Franck) என்பவர் பச்சைய மூலக் கூறுகள் மட்டும் ஒளிச்சேர்க்கையின் திறத்தை அதிகரிப்பவை யல்லவென்றும், ஒளிக்கிரியையில் பங்குகொள்ளும் 2000 மூலக் கூறுகள் இருந்தபோதும், தொடர்ந்து நிகழும் இருள் கிரியையில் பங்குகொள்ளும் நொதிகளின் எண்ணிக்கை முக்கிய அம்சமாகிறது என்றும் குறிப்பிட்டார். அதனால்தான் 2000 பச்சைய மூலக்கூறுகள் இருந்தபோதும், இருள் கிரியையில் ஒரு மூலக்கூறு ஆக்ஸிஜனையே முடிவில் வெளிப்படுத்துகின்றன.

இவ்வாறாக 20-ம் நூற்றாண்டின் முதற் பகுதியில் ஒளிச்சேர்க்கையில் இரு கிரியைகள் இருப்பதையும், ஒளிக்கிரியையில் உண்

டான நிலையற்ற இடைப் பொருள்கள் (Unstable intermediates), இருள் கிரியையில் வினைபுரிதலையும், பின்னர் முடிவுப் பொருள்களான ஆக்ஸிஜன், கார்போஹைடிரேட்டு முதலியன உற்பத்தியானதையும் தெளிவாக்கினர்.

1937-ல் ஹில் (Hill), உலர்த்தப்பட்ட (Dried) பசுங்கணிகங்கள் ஃபெர்ரிக் உப்புக்களைக் குறைக்கின்றனவென்றும், அதே சமயம் ஆக்ஸிஜனையும் வெளிவிடுகின்றனவென்றும் குறிப்பிட்டார். ஆனால் இந்த நிகழ்ச்சியில் ஃபெர்ரிக் உப்புக்கள் (Ferric Salts) ஃபெர்ரஸ் உப்புகளா (Ferrous Salts) கின்றனவே த்விர கார்போஹைடிரேட்டுகள் உண்டாவதில்லை.

ஃபோட்டாலிஸிஸ், ஒளிக் கிரியையில், நீரைப் பிரிக்கும் நிகழ்ச்சியாக அமைகிறது. பச்சையம் ஒளிச் சக்தியை ஈர்க்கும். குவான்டா (Quanta) என்ற ஒளிச்சக்தி நீரைப் பிரிக்கின்றன. இது மின்சக்தியால் நீரைப் பிரித்தலுக்கு (Electrolysis of Water) ஒப்பாகிறது.

நீர் 4 எலெக்ட்ரான்கள் 4 புரோட்டான்கள் + ஆக்ஸிஜன்

$$2\,H_2O \xrightarrow[\text{ஒளி}]{4e^-} 2\,H_2^+ \quad + \quad O_2$$

மேற்கண்ட எலெக்ட்ரான்கள் எங்ஙனம் Co_2-ஐ அடைகின்றன என்று அறியுமுன், தாவரங்களில் நிகழும் சுவாசித்தல் நிகழ்ச்சியில் நம் கண்ணோட்டம் செல்ல வேண்டும்.

சுவாசித்தல் ஒளிச்சேர்க்கைக்கு முற்றிலும் வேறுபட்ட நிகழ்ச்சியாகும். சுவாசித்தலில் உணவுப் பொருள்கள் சிதைவுறுகின்றன. அவற்றின் கார்பன் இணைப்புக்கள் துண்டிக்கப்படுகின்றன. கார்பன்களுடன் அமைந்த ஹைடிரஜன்கள் அகற்றப்பட்டு ஆக்ஸிஜனோடு சேர்க்கப்படுகின்றன. இதனால் நீர் உண்டாகிறது.

ஒளிச் சேர்க்கையில் உணவுப்பொருள்களின் வளர்மாற்றம் நிகழ்கிறது. நீரிலுள்ள ஹைடிரஜன் அகற்றப்பட்டு கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடுக்கு மாற்றப்படுகிறது. கார்பன்-கார்பன் இணைப்புக்கள் உண்டாகின்றன. இதனால் உணவுப் பொருள்களான கார்போஹைடிரேட்டுகள் தயாராகின்றன.

சுவாசித்தலில், உணவுப் பொருள்களிலிருந்து ஹைடிரஜன்கள் அகற்றப்படுகின்றன. ஒளிச் சேர்க்கையில், நீரிலிருந்து ஹைடிரஜன்கள் அகற்றப்படுகின்றன.

சுவாசித்தலில் ஆக்ஸிஜன், ஹைடிரஜனை ஏற்பாளுகிறது (Acceptor). ஆக்ஸிஜன், மிகுந்த சக்தி வாய்ந்த ஆக்ஸீகரணி என்பதை அறிவோம். எனவே சுவாசித்தலில் நிகழும் மேற்கண்ட நிகழ்ச்சி எளிதில் நடைபெறக்கூடியது. மேலும் உணவுப் பொருள் களிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் அகலும்போதும், பல ஆக்ஸீகரணக் குறைத்தல் நொதிகளின் (Oxido-reductase systems of Enzymes) வழியாகச் செல்லும்போதும், சக்தி வெளிப்படும் கிரியைகளே (Exergonic reactions) நிகழ்கின்றன.

இதற்கு மாருக ஒளிச் சேர்க்கையில் ஹைடிரஜனைக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு ஏற்கிறது. ஆக்ஸிஜனேடு போட்டியிட்டு ஹைடிர ஜனை ஏற்பது, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடால் இயலாது. இத்தகைய அரிதான குறைத்தல் கிரியைக்கு சக்தி தேவை (Endergonic reaction). அந்தச் சக்தியை அளிப்பது ஒளியே. பச்சைய நிறமிகள் ஒளிக் கிரியையின்போது, தாம் ஈர்த்துக்கொண்ட ஒளி 'அணுக் களின்' (Atoms' of Light) சக்தியால், நீரிலிருந்து ஹைடிரஜனைப் பிரித்துக் கார்பன்களோடு அவை இணைவதற்கான குறைத்தல் சக்தியை (NADPH) உற்பத்தி செய்கின்றன.

சக்தி தேவைப்படும் கிரியைகளை மலைமேல் ஏறும் செயலுக்கும் (Climbing up hill), சக்தியை வெளிவிடும் கிரியைகளை மலையி லிருந்து இறங்கும் செயலுக்கும் (Climbing down hill) ஒப்பிடுவர்.

நிறமிகள் ஒளியை ஈர்த்தலை முன்னரே கண்டோம். பசுந் தழைகளை நிழலில் உலர்த்தி, பொடிசெய்து, அஸிடோனில் கரைக்க வேண்டும். பின்னர் வடிதாளில், வடிகட்டி, தட்டையான பக்கங்கள் கொண்ட சோதனைக் குழாயில் ஊற்றவேண்டும். அதை நுண் ணேக்கியில் பொருத்தப்பட்ட ஸ்பெக்ட்ரோஸ்கோப்பின் (Spectroscope) வழியாக நோக்கினுல், ஒளிஈர்ப்பு நிறமாலை தோன்றும். இது ஒளிச் சேர்க்கையின்போது தோன்றும் செயல்நிறமாலையை ஒத்திருப்பதாகக் கருதினர்.

ஆனுல் அண்மையில் ஒளிஈர்ப்பு நிறமாலையும் (Absorption Spectrum), செயல்நிறமாலையும் (Action Spectrum) வேறுபடு கின்றனவென்று கண்டுபிடித்தனர். இதற்குக் காரணம், பச்சை யத்தைத் தவிர, மற்ற நிறமிகளும் ஒளிக்கிரியையில் பங்கேற்பதே யாகும். எனவே ஒளிக்கிரியை, இரண்டாக இருத்தல் வேண்டு மெனக் கருதப்படுகின்றது.

இனி, இந்த ஒளிக்கிரியையில் நிகழ்வதுதான் என்னவென்று பார்ப்போம்.

1937-ல் ஆர். ஹில் (R. Hill), பிரித்தெடுக்கப்பட்ட பசுங் கணிகங்கள் ஆக்ஸிஜனை வெளிவிடுகின்றன என்று காண்பித்தார். ஒரு மணி நேரம் வரையில், ஆக்ஸிஜன் வெளியீட்டை நிகழ்த்திக் காட்ட, அவர் பசுங்கணிகங்களோடு ஒரு பொருளைச் சேர்த்தார். அது, ஃபெர்ரிக் ஆக்ஸலேட் என்ற இரும்பு உப்பு. இதன் பின்னர் நிகழ்த்திய பரிசோதனைகளில், ஃபெர்ரிக் உப்புக்களுக்குப் பதிலாக, குவினோன் (Quinone) போன்ற சில சாயங்களை உபயோகப்படுத்தலாம் எனக் கண்டுபிடித்தனர். இரும்பு உப்புகளான ஃபெர்ரிக் உப்புகளும், குவினோனும் ஒரு முக்கிய பண்பில் ஒத்திருக்கின்றன. இவையனைத்தும் சக்திவாய்ந்த ஆக்ஸீகரணிகளாகும். கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடைவிட விரைவில், இவை ஹைடிரஜனை ஏற்கின்றன. இந்தக் கிரியைகளின் ஆய்வில் முதன்முதல் ஊக்கங் கொண்ட ஆர். ஹில் என்பவரின் பெயரைத் தழுவியே இதனை ஹில் கிரியை என்றழைத்தனர்.

1937ஆம் ஆண்டிலேயே, ரேபினோவிட்ச் (Rabinowitch), வீஸ் (Weiss) என்ற இருவர் ,பச்சைய நிறமி ஃபெர்ரிக் குளோரைடு உப்பால் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுகிறது என்று காட்டினர். இந்தக் கிரியையில் ஏற்பட்ட நிறமாற்றம் இதனைத் தெள்ளத் தெளிவாக்கியது. கிரியை பிரியுமுன் பச்சையாக இருந்த கலவை, மஞ்சளாக நிறம் மாறியது. இதனால் ஃபெர்ரிக் உப்பு குறைத்தல் அடைந்து ஃபெர்ரஸ் உப்பாகியது விளங்கிற்று. (பெர்ரிக் உப்பின் நிறம்-பச்சை ; பெர்ரஸ் உப்பின் நிறம் மஞ்சள்.)

மேற்கண்ட ஆய்வுகளில், பசுங்கணிகங்கள், பெர்ரிக் உப்பு அல்லது குவினோன் போன்ற பொருள்களினால் ஆக்ஸீகரணிக்கப் படுகின்றன என்பது தெளிவாகியது. மேலும், ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியில் பச்சைய நிறமிகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் பெர்ரிக் உப்புக்கு மாற்றப்படுகின்றன என்பது நிரூபிக்கப்பட்டது.

1950-ல் ஹில் இதனை உறுதிப்படுத்தி, ஒளிச்சேர்க்கையின் முதற்படியான ஒளிக்கிரியையில் எலெக்ட்ரான் மாற்றம் (Electron Transport) காணப்படுகிறதென்றார். இதில் எலெக்ட்ரான்களைக் கடத்துவன, ஸைடோகுரோம் (Cytochrome) நொதிகள் என்று கருதினர்.

1952-ல் விஷ்னியாக் (Vishniac), ஒக்கோஆ (Ochoa) என்ற இருவர், மேலும் ஒரு நொதியின் முக்கியத்துவத்தைக் காட்டினர். அந்த நொதிகள், NADP என்று சுருக்கிக் கூறப்படும், நிகோடினமைட் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் ஃபாஸ்ஃபேட்டாகும்

(Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate). இவையும் மேற்கண்ட ஹில் கிரியையில் குறைத்தல் அடைகின்றன.

1954-ல் ஆர்நோன் (Arnon) என்பவரும் அவருடைய துணை வல்லுநர்களும் நிகழ்த்திய ஆய்வின் முடிவு ஒளிக் கிரியையின் வரலாற்றில் ஒரு முக்கிய திருப்பத்தைக் கொணர்ந்தது.

பிரித்தெடுக்கப்பட்ட பசுங்கணிகங்கள், ஒளிச் சக்தியை உபயோகப்படுத்தி, சர்க்கரை, தரசம் போன்ற கார்போஹைடி ரேட்டுகளைத் தயாரிக்கின்றன. இதற்கெனக் கார்பன்-டை-ஆக் ஸைடையும் நீரையும் உபயோகப்படுத்துகின்றன. ஆக்ஸிஜனையும் வெளிவிடுகின்றன. இங்ஙனம் கார்பனை நிலைப்படுத்துகையில் தேவைப்படும் ATP-ஐயும் தயாரிக்கின்றன. ADP-ஐ ஃபாஸ்ஃபரீ கரணித்து ATP-ஐத் தயாரிக்கின்றன. (மைட்டோகோண்ட்ரியாக் களின் உதவி இல்லாமலேயே, ATP தயாரித்தல் குறிப்பிடத் தக்க தாகும்.

மேற்கண்ட கிரியைகளைப்பற்றி விளக்கங்கள் வெளியாவதற்கு முன்னரே, 1943-ல் ரூபென் அவர்கள், மேட்டோகோண்ட்ரியாக் களில் நிகழும் ஆக்ஸீகரண ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்திற்கு இணையாக, ஒளி பாஸ்பரீகரணம் என்றொரு நிகழ்ச்சியிருப்பதாகக் கூறினர்.

1958-ல் ஆர்நோன், ஒளி ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்தில் ஆக்ஸிஜன் தேவைப்படுவதில்லை என்றும், ஆனால் ஆக்ஸீகரண ஃபாஸ்ஃபரீ கரணத்தில் ஆக்ஸிஜன் தேவைப்படுகிறது என்றும் குறிப்பிட்டார்.

ஆனால் ஒளி ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்தில் ஆக்ஸிஜன் ஊக்கியா வதை ஆர்நோன் அறிந்தார். ஆக்ஸிஜனைப்போல் வைட்டமின் Kயும் (Vitamin K), ஃப்ளேவின் மோனோ நியூக்ளியோடைட்டும் (Flavin mono nucleotide) ஒளி ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்திற்கு உதவு கின்றன என்பதும் கண்டுபிடித்தார். வைட்டமின் K பசுங்கணி கங்களில் காணப்படுகின்றன.

பிரித்தெடுக்கப்பட்ட பசுங்கணிகங்களுடன், வைட்டமின் Kஐச் சேர்ந்தபோது, அது ATP உற்பத்தியாகும் வேகத்தை இரு மடங்காக அதிகரித்தது. ஃப்ளேவின் மோனோ நியூகிளியோ டைட்டும் வைட்டமின் K-ஐப் போலவே வினை புரிந்தது. வைட்டமின் K, FMN போன்ற பொருள்களை, பிரித்தெடுக்கப்பட்ட பசுங்கணிகங்களுடன் சேர்த்தால், ஒளி ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச் சிக்கு ஆக்ஸிஜன் தேவைப்படுவதில்லை எனக் கண்டனர். எனவே

ஒளி ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் காற்றில்லாத கிரியையாகும் என்பது தெளிவாகியது.

உயர் தாவரங்களின் பசுங்கணிகங்களின் மேற்கண்ட ஆற்றலைக் கண்டுபிடித்துப் பின்னர், ஃபெரேங்கல் என்பவர், இத்தகைய ஆற்றல் பாக்டீரியாக்களிலும் காணப்படுவதைத் தெளிவாக்கினார்.

ரோடோஸ்பைரில்லம் ரூப்ரம் (Rhodospirillum rubrum) எனப்படும் ஒளிச்சேர்க்கைப் பாக்டீரியாக்களிலிருந்து பிரித்தெடுக்கப்பட்ட சாரம் (Cell free extract) குரோமேடோஃபோர்களைக் கொண்டிருக்கின்றனவென்றும், அவைகூட, ATP-ஐக் காற்றில்லாமல், ஒளியில் தயாரிக்கின்றனவென்றும் குறிப்பிட்டார்.

இதனைத் தொடர்ந்து நிகழ்த்திய ஆய்வுகளில் குரோமேடோஃபோர்களையும், பசுங்கணிகங்களையும் உபயோகித்தனர். இவைகளினால் ஒளி ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சி, ஆக்ஸீகரண ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சியைப் போன்றதொரு, ATPஐ உற்பத்தி செய்யும் நிகழ்ச்சி எனக் கண்டனர். ஆனால் இவ்விரண்டில் நிகழும் வேதியியல் மாற்றங்கள் வேறுபடுகின்றனவென்றும் அறிந்தனர்.

ஒளிக் கிரியையின்போது ஒரு ஃபோட்டான் ஒளி (A photon of light), ஒரு குளோரோஃபில் மூலக்கூறில் பட்டு அதனைக் கிளர்த்துகின்றது. இங்ஙனம் கிளர்த்தப்பட்ட மூலக்கூறு கிளர்த்தப்படாத மூலக்கூற்றைவிட அதிக சக்தி வாய்ந்தது எனலாம்.

இத்தகைய கிளர்த்தப்பட்ட மூலக்கூறுகள் ஒளிக்கிரியை புரியாவிடில், அவைகளின் சக்தி வெப்பமாகவும், கதிர் வீச்சாகவும் வெளிப்படுகின்றது.

கிளர்த்தப்பட்ட மூலக்கூறுகளின் மிகுதியான சக்தியைக் கணக்கிட்டனர்.

பச்சையம், நீல ஒளியை ஈர்த்துக்கொண்டு கிளர்த்தப்படும்போது, ஆது இரண்டாம் சிங்லெட் நிலையை (Second singlet state) அடைகின்றது. இதில் காணப்படும் மிகுதியான சக்தி, ஒரு மூலக்கூறுக்கு 65 கிலோ காலரி எனப்படுகிறது. இந்த நிலையிலுள்ள பச்சையம் 10^{-11} செகண்டு நேரத்தில், வெப்பத்தை இழந்து, முதல் சிங்லெட் நிலையை (First singlet state) அடைகின்றது. இந்த, மாறிய நிலையில் காணப்படும் மிகுதியான சக்தி ஒரு மூலக்கூறுக்கு 41 கிலோ காலரி எனப்படுகிறது.

முதல் சிங்லெட் நிலையை, பச்சைய மூலக்கூறுகள், சிவப்பு ஒளியை ஈர்க்கும்போது அடையமுடியும். இந்த நிலைதான் ஒளிச் சேர்க்கைக்குப் பயன்படுகிறது என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். முதல் சிங்லெட் நிலையிலுள்ள மூலக்கூறுகள் 10^{-9} செகண்டு கால அளவில், தம் நிலையை மாற்றிக்கொண்டு ட்ரிப்லெட் நிலையை (Triplet state) அடைகின்றன. இதில் காணப்படும் மிகுதியான சக்தி ஒரு மூலக்கூறுக்கு 31 கிலோ காலரி எனப்படுகிறது. இந்த ட்ரிப்லெட் நிலையிலுள்ள மூலக்கூறுகள், அதே நிலையில் நீடித்த நேரம் (10^{-2} செகண்டு) நிலைத்திருக்கின்றன. ஒளிக்கிரியையில் பங்குகொள்ளும் மூலக்கூறுகள் இத்தகைய நிலையில் அமை கின்றன.

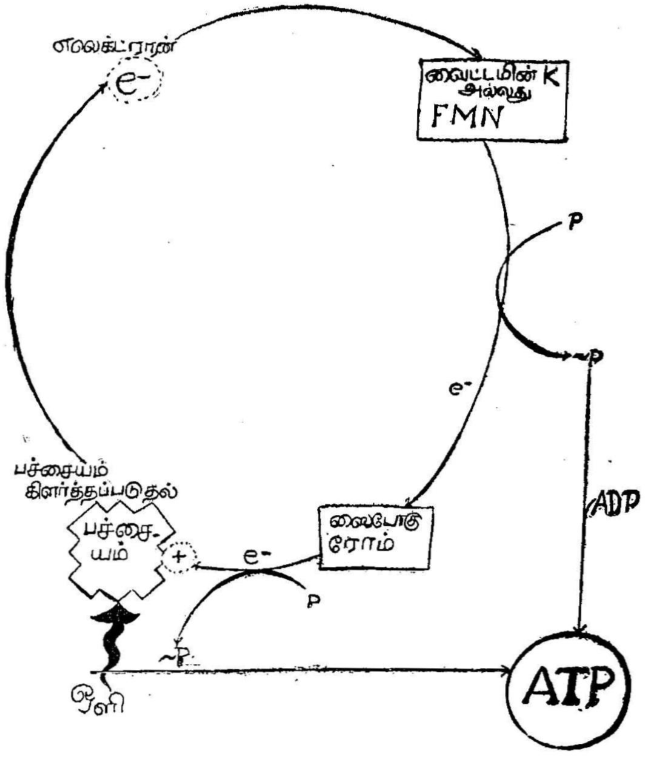
இங்ஙனம் கிளர்த்தப்பட்ட குளோரோபில் மூலக்கூறுகள் தம் சக்தியை எலெக்ட்ரான் உருவத்தில் வெளிவிடலாம் என ஆர்நோன் கருதினர்.

(ஆக்ஸிகரணிக்கப்பட்ட) எலெக்ட்ரான்

கிளர்த்தப்பட்ட) பச்சையம்* ——→ [பச்சையம்]$^+$ + e^-

வெளியேற்றப்பட்ட எலெக்ட்ரான்களை, வைட்டமின் K போன்ற பொருள் ஏற்கின்றது. அதிலிருந்து மற்றுமொரு பொருளுக்கு எலெக்ட்ரான் மாற்றப்படுகின்றது. இம் முறையே, வைட்டமின் K-யிலிருந்து துவங்கி, சைடோகுரோம்களின் வழியாகச் செல்லும் எலெக்ட்ரான் தன் சக்தியை இழந்து முடிவில் பச்சைய மூலக் கூறினை அடைகிறது. எனவே இது, எலெக்ட்ரானின் சுழற்சிப் பயணமாகிறது (Cyclic transport). இந்த எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரில் ATP உற்பத்தியாகிறது. இதனைத்தான் சுழற்சி ஒளி ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் (Cyclic photophosphorycation) என்றழைக் கின்றனர். படம் 7.1.)

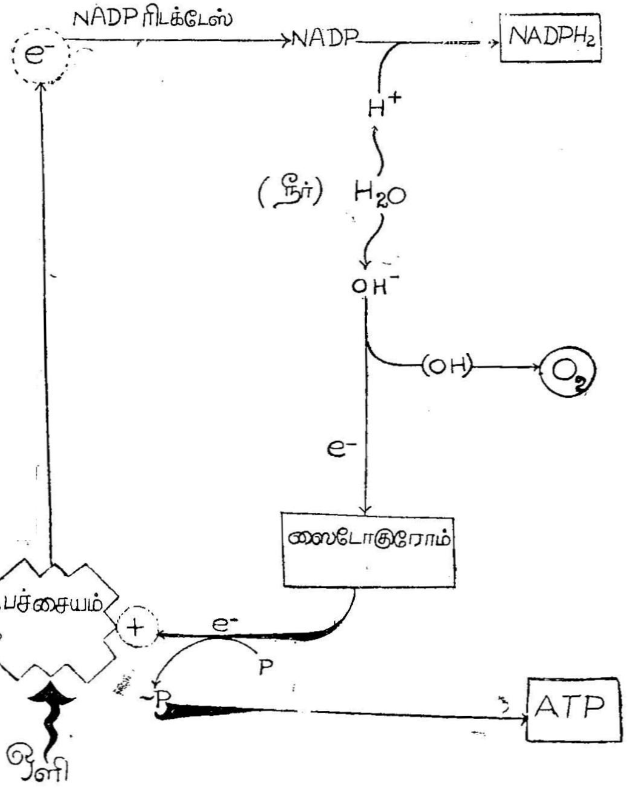
உயர் தாவரங்களிலுள்ள பசுங்கணிகங்களுக்கு, NAPD-ஐயும், குளோரைடு உப்பு ஒன்றையும் அளித்து ஒரு பரிசோதனையை நிகழ்த்தினர். வைட்டமின் K-ஐ மேற்கண்ட கலவையுடன் சேர்க்கவில்லை. இந்தப் பரிசோதனையில் பசுங்கணிகங்கள் ஆக்ஸிஜனை வெளிவிடுகின்றனவென்று அறிந்தனர். NADP என்ற இணைநொதி, NADP ரிடக்டேஸ் (NADP Reductase) என்ற நொதியால் குறைத்தல் அடைந்தது. ATP-யும் ஓரளவிற்கு உற்பத்தியானது. இந்தக் கிரியைகளைக் கீழ்வரும் சமன்பாட்டில் குறிப்பிடலாம்.



படம் 7.1. சுழற்சிஃ பாஸ்ஃபரிகரணம்

ஆர்னோன் கண்டபடி கிளர்த்தப்பட்ட (குளோரோஃபில்) பச்சைய மூலக் கூறுகள் தங்களுடைய சக்தியை எலெக்ட்ரான் உருவில் வெளியேற்றுகின்றன. இந்த எலெக்ட்ரான் வைட்டமின் k. அல்லது ஃப்ளேவின்மோனே நியூக்ளியோடைடு போன்ற ஏற்பானல் ஏற்கப்பட்டு சைட்டோகுரோமிற்குக் கடத்தப்படுகின்றன. இந்த எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தில் ஒரு ATP மூலக் கூறு உற்பத்தியாகின்றது. சைட்டோகுரோமிற்குக் கடத்தப்பட்ட மூலக் கூறுகள் முடிவில், பச்சையத்தை அடைகின்றன. இந்த எலெக்ட்ரான் மாற்றத்திலும் ஒரு ATP உண்டாவதால், மொத்தம் இரு ATP மூலக் கூறுகள் எலெக்ட்ரான் மார்க்கத்தில் உண்டாகின்றன. e^- = எலெக்ட்ரான், ~P = கிளர்த்தப்பட்ட ஃபாஸ்ஃபேட்டு ADP = அடினேசின் டைஃபாஸ்ஃபேட்டு, ATP = அடினேசின் ட்ரைஃபாஸ்பேட்டு, FMN = ஃப்ளேன்மோனே நியூக்ளியோடைடு + = புரோட்டான்.

P = ஃபாஸ்ஃபேட்.



படம் 7.3. சுழற்சியிலாஃ பாஸ்ஃபரிகரணம்

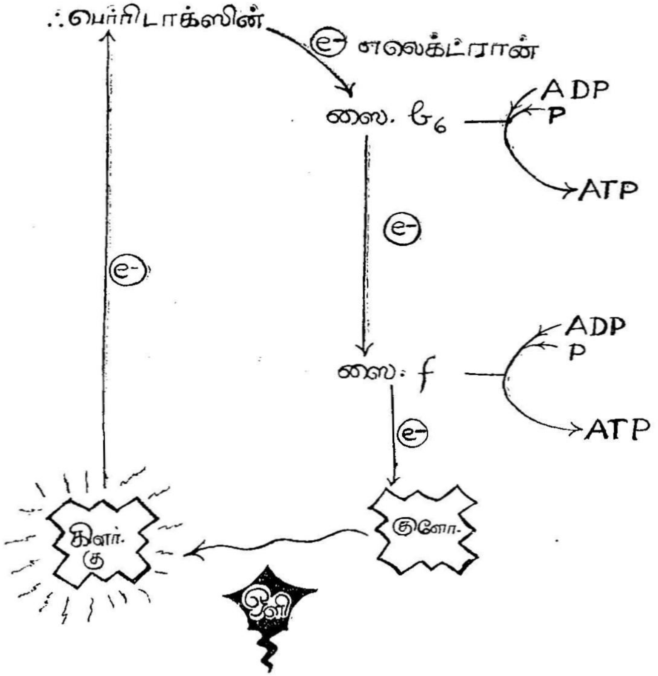
பச்சையம் ஒளியை ஈர்க்கின்றது. இதனால் எலெக்ட்ரானை வெளித் தள்ளுகின்றது. இது NADP-ஐக் குறைக்கின்றது. எனவே எலெக்ட்ரான் பச்சையத்தை மறுபடியும் அடைவதில்லை. இந்த எலெக்ட்ரர்ன் e− நஷ்டத்தை ஈடு செய்ய ஹைடிராக்ஸிலி (OH)-லிருந்து எலெக்ட்ரானை சைடோகுரோம் ஏற்று, பச்சையத்திற்குக் கடத்துகிறது. இங்கு நீரிலிருந்து (H_2O), ஹைடிராக்ஸிலும் ஹைடிரஜன் அயனியும் (H^+) கிடைக்கின்றன. சைடோகுரோமிலிருந்து வரும் எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரில் ஒரு ATP உற்பத்தியாகிறது. $NADPH_2$= நிகோடினமைட் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் (குறைத்தல் அடைந்துள்ளது). ஆக்ஸிஜன் வாயு (O_2)வின் தோற்றம் (OH) ஹைடிராக்ஸில் வழியாக வருவதைக் குறிப்பிடுகிறது. மற்றப் பகுதிகள் படம் 7.1-ல் கண்டபடி.

$$2NADP^{+} + 2ADP + 2P + 2H_2O \xrightarrow[\text{ஒளி}]{\text{பசுங்கணிகம்}}$$

குறைத்தல் அடையாத இணைநொதி — ஃபாஸ்ஃபேட்டு

$$2NADPH + 2H^{+} + O_2 + 2ATP$$

குறைத்தல் அடைந்த இணைநொதி — இரு புரோட்டான் (Protons)



படம் 7.3. சுழற்சி ஃபாஸ்ஃபரிகரணம்

e—எலெக்ட்ரான்
சை. bf—சைடோகுரோம் b6
சை. f—சைடோகுரோம் f
P—ஃபாஸ்ஃபேட்
ADP—அடினேசின் டைஃபாஸ்ஃபேட்
ATP—அடினேசின் ட்ரைஃபாஸ்ஃபேட்
கிளர். கு—கிளர்த்தப்பட்ட குளோரோஃபில்
குளோ—குளோரோஃபில்

இந் நிகழ்ச்சியில் நீரிலிருந்து ஆக்ஸிஜன் வெளிவருவதைக் காண்க. குளோரோஃபில்லிலிருந்து கிளர்த்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான் களை NADP, அவைகளோடு சேர வரும் புரோட்டான்களோடு (Protons) சேர்த்து ஏற்றுக்கொள்கின்றது. இதனுல் NADP குறைத்தல் அடைகிறது. எனவே இந்த எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடர் சுழற்சி ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்தின் எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரிலிருந்து முற்றிலும் வேறுபடுகிறது.

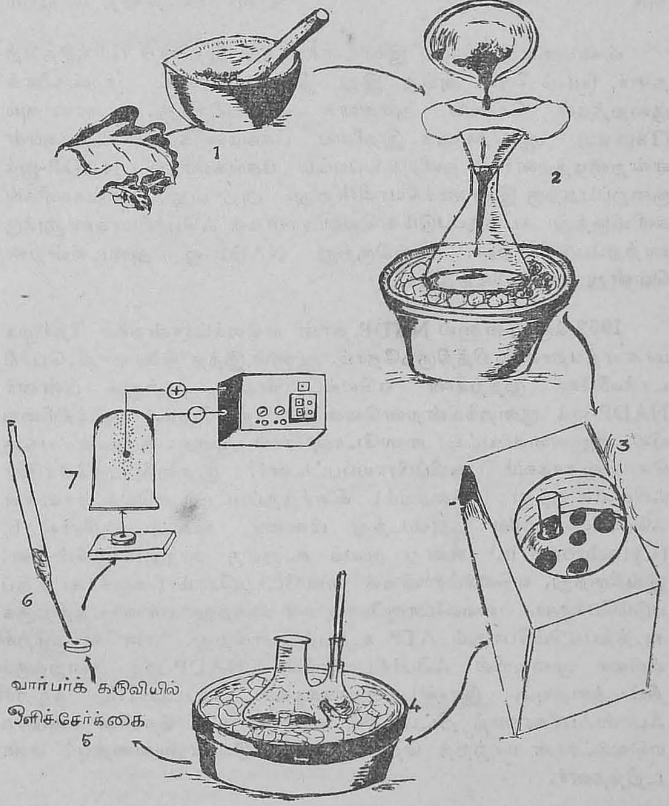
மேற்கண்ட நிகழ்ச்சியில் நீரிலிருந்து ஹைடிராக்ஸில் அயனிகள் வெளிவருகின்றன. அவை குளோரைடுடன் வினை புரிந்து ஆக்ஸிஜனை வெளிவிடுகின்றன பின்னர் எஞ்சிய எலெக்ட் ரான்கள் ஸைடோகுரோம் வழியாகக் குளோரோஃபில்லை அடையும் நிகழ்ச்சியில்தான் ATP உற்பத்தியாகின்றது. நீரிலிருந்து வெளி வரும் ஆக்ஸிஜன் எவ்வகையில் தோன்றுகின்றது என்பது தெளி வாகவில்லை. ஒருவேளை, இரு ஹைடிராக்ஸில் அயனிகள் வினை புரிந்து, ஹைடிரஜன் பெர்ராக்ஸைடை (H_2O_2) உண்டுபண்ணிய பின்னர், ஆக்ஸிஜனை வெளிவிடலாம் என்று கருதப்படுகிறது. நீரிலிருந்து கடத்தப்படும் எலெக்ட்ரான்கள் குளோரோஃபில்லை அடைகின்றன என்று கண்டோம். பின்னர் ஒளி ஈர்த்தலால் கிளர்த்தப்பட்டு அகலும் எலெக்ட்ரான்களின், நஷ்டத்தை ஈடு செய்யவே நீரிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் குளோரோஃபில்லை அடை கின்றன என்பர். குளோரோஃபில்லிலிருந்து அகலும் எலெக்ட் ரான்களே, NADPஐக் குறைக்கின்றன இவையனைத்தையும் படம் 7.2-ல் காண்க.

எனவே ஒளிக்கிரியையில், நீரைப் பிரிக்கும் நிகழ்ச்சியும், நடைபெற வேண்டியிருக்கின்றதென்று அறிந்தனர். அப்போது வான்நீல், ஒளிக்கிரியையில் ஒரு பகுதி நீரைப் பிரித்தெடுக்கும் கிரியையில் பங்குகொள்ள வேண்டும் என்று அபிப்பிராயப்பட்டார்.

முன் கண்ட சுழற்சி ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்தில் அதிக அளவு ATP உற்பத்தி செய்யப்பட்டது. ஆனுல் குறைத்தல் சக்தியான NADPH தோன்றவில்லை.

நீரைப் பிரித்தலுக்கு, உயர் சக்தி வாய்ந்த பச்சைய மூலக் கூறும், மிகுந்த ஆக்ஸீகரண சக்திவாய்ந்த ஸைடோகுரோமும் தேவைப்பட்டன. ஆனுல் அச்சமயம், சக்தியில் குறைந்த ஸைடோ குரோம் (Cytochrome)-ஐயே அறிந்திருந்தனர். அந் நிலை யில் மேற்கண்ட கிரியைத் திட்டத்தை விளக்குவது அரிதா யிருந்தது.

1962-ல் ஃபெர்ரிடாக்ஸின் (Ferridoxin) என்ற பொருளைக் கண்டுபிடித்தனர். இது ஒரு புதிய, எலெக்ட்ரான் கடத்தும் புரத மாகும். இதிலும் ஸைட்டோகுரோமிலுள்ளதைப்போல், இரும்பு அணு காணப்படுகின்றது. ஆனுல் இரும்புச் சேர்க்கையுள்ள, ஸைடோகுரோம்கள், ஹீமோகுளோபின்கள் (Haemoglobins), ஹீம்புரதங்கள் (Haem proteins) போலில்லாமல், இரும்பும் புரதமும், இந்தப் பொருளில் ஹீம் உருவமில்லாத நிலையில் (Non haem Ironprotein) அமைந்துள்ளன.



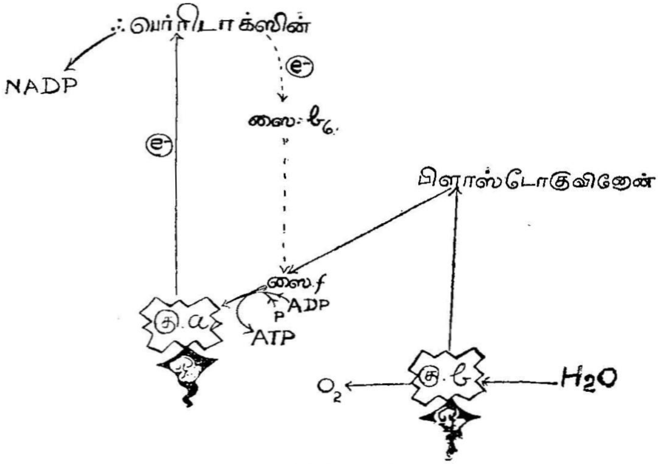
படம் 7.4. பசுங் கணிகங்களில் ஒளிச்சேர்க்கை

1. ஸ்பைனுச் இலைகளைக் கலுவத்தில் இட்டு, மண், நீர், சேர்த்து அரைத்தல்
2. அரைத்தெடுத்தக் கூழை வடிகட்டுதல். கண்ணாடிக் குடுவையைச் சுற்றிப் பனிக்கட்டிகள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. இவை நொதிகளைக் காக்கின்றன. இந்த நொதிகள் ஒளிச்சேர்க்கையில் பங்குகொள்கின்றன.
3. வடிகட்டிய கரைசலை சோதனைக் குழல்களில் ஊற்றிக்குளிர்ந்த ஸென்ரிப்யூஜில் வைத்தல். இதனால் பசுங் கணிகங்கள் செல்களின் மற்றப் பகுதிகளிலிருந்து பிரிகின்றன.
4. பின்னர் பசுங் கணிகங்களைத் தனிப்பட்ட வார்பர்க் குடுவைகளில் 1 கதிரியக்கக் கார்பன் அல்லது கதிரியக்க ஃபாஸ்ஃபரஸ் உள்ள பொருள்களுடன் சேர்த்தல்
5. வார்பர்க் கருவியில் பசுங்கணிக ஒளிச்சேர்க்கை செய்யும்படி செய்தல்.
6. ஒளிச் சேர்க்கை முடிந்தவுடன் குடுவையிலுள்ள கலவையைப் பிப்பெட்டில் எடுத்து ஒரு பிளான்செட்டின்மேல் வைத்தல். பிறகு இதனை கீஜர் கௌன்டர் (Geiger Counter) என்ற கருவியில் வைத்து ஒளிச் சேர்க்கையில் உண்டான பொருள்களின் கதிரியக்கத் தன்மையை அறிதல்.
7. கீஜர் கௌன்டர்

ஸ்பைனச் (Spinach) இலைகளிலிருந்து இதனைப் பிரித்தெடுத்தனர் (படம் 7.4.) அங்கு இது, நிகோடினமைட் புரதங்களைக் குறைத்தல் செய்யும் அம்சமாக வினைபுரிந்தது. டகாவாவும் (Tagawa) ஆர்நோனும் இதனைப் பசுங்கணிகஃபெர்ரிடாக்ஸின் என்றழைத்தனர். ஒளியூட்டப்பட்ட பசுங்கணிகம் NADP-ஐக் குறைப்பதற்கு இது ஊக்கியாகின்றது. அதாவது, பசுங்கணிகங்களிலிருந்து கடத்தப்படும் எலெக்ட்ரான்கள் ஃபெர்ரிடாக்ஸினுக்கு மாற்றப்படுகின்றன. அங்கிருந்து NADP-ஐ அடைகின்றன வென்று கண்டுபிடித்தனர்.

1962-க்கு முன்னால் NADP தான் எலெக்ட்ரான்களை நேர்முகமாக ஏற்பதாக அறிந்திருந்தோம். ஆனால் இந்த நிலை மாறி, பெர்ரிடாக்ஸினே முதற்கண் எலெக்ட்ரான்களை ஏற்றும் பின்னர் NADP-ஐக் குறைக்கின்றனவென்று அறிகிறோம். ஒளிக்கிரியையில் இருவகைப்பட்ட சைடோகுரோம் மூலக் கூறுகள் பங்கு கொள்வதாகவும் அபிப்பிராயப்பட்டனர். இதனால் குளோரோஃபில்லிலிருந்து (பச்சையம்) கிளர்த்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் ஃபெர்ரிடாக்ஸினை அடைந்து பின்னர், சைடோகுரோம் b_6 (Cytochrome b_6) என்ற மூலக் கூறுக்கு மாற்றப்படுகின்றன. இங்கிருந்து, எலெக்ட்ரான்கள் சைடோகுரோம் f-க்குக் கடத்தப்படும்போதும், சைடோகுரோம் f-லிருந்து பச்சையத்திற்குக் கடத்தப்படும்போதும் ATP உற்பத்தியாகிறது. எனவே சுழற்சியில்லா முறையில் ஃபெர்ரிடாக்ஸின் NADP-ஐக் குறைக்கும் திட்டத்தையும், இரண்டாவதாகக்கண்ட (படம் 7.3) சுழற்சி ஃபாஸ்ஃபரீகரணத் திட்டத்தில் சைடோகுரோம்களின் வழியாக எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரை உண்டுபண்ணுவதையும் கண்டறிந்தனர்.

1964-ல் ஆர்நோன் மேற்கண்ட இரு (சுழற்சி ஃபாஸ்ஃபரீகரணம், சுழற்சியில்லா ஃபாஸ்ஃபரீகரணம்) கிரியைகளையும் இணைத்து ஒரு புதிய கிரியைத் திட்டத்தை உருவாக்கினர் (படம் 7.5) இதன்படி பச்சையம் b-யிலிருந்து கிளர்த்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் சுழற்சி ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சியின் இறுதி நிலையான சைடோகுரோம் f (Cytochrome f)-ஐ அடைகின்றன. பச்சையம் a-யிலிருந்து கிளர்த்தப்படும் எலெக்ட்ரான்கள் ஃபெர்ரி டாக்ஸினைக் குறைக்கின்றன. பின்னர் இவை சுழற்சி ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சியில் பங்கேற்கும்போது சைடோகுரோம் b_6, சைடோகுரோம் f, இவைகளின் வழியாக, இறுதியில் பச்சையம் a மூலக் கூறுகளை அடைகின்றன. இதனால் ஒளிக்கிரியை இரு பகுதிகளாக நிகழ்கின்றது. நீரிலிருந்து ஆக்ஸிஜன் வெளிவருதல் பச்சையம் b



படம் 7.5. ஒளிக்கிரியையில் நிறமிகள்

NADP—நிகோடினமைட் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் ஃபாஸ்ஃபேட்
e—எலெக்ட்ரான்
சை. b_6—சைடோகுரோம் b_6
சை. f—சைடோகுரோம் f
கு-a—குளோரோஃபில் a
P—ஃபாஸ்ஃபேட்
ADP—அடினோசின் டைஃபாஸ்ஃபேட்
ATP—அடினோசின் ட்ரை ஃபாஸ்ஃபேட்
கு-b—குளோரோஃபில் b
O_2—ஆக்ஸிஜன்

பகுதியில் சேர்க்கப்பட்டுள்ளதைக் காண்க. சுழற்சிஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சியில் பங்கேற்கவில்லையெனின், எலெக்ட்ரான்கள் ஃபெர்ரி டாக்ஸின் வழியே NADP-ஐக் குறைக்கின்றன.

1970-ஆம் ஆண்டில் ஃபெர்ரி டாக்ஸினைவிட ஆக்ஸீகரணிக்கும் சக்திவாய்ந்த பொருள் உண்டென்று கூறினர். இதனை ஃபெர்ரி டாக்ஸினைக் குறைப்பான் (FRS or Ferridoxin reducing substance) என்றழைக்கின்றனர்.

நீரிலிருந்து எலெக்ட்ரான்களும், ஆக்ஸிஜனும் கிடைக்கின்றனவென்று அறிந்து 30 ஆண்டுகளுக்குமேல் ஆகின்றன. ஆனால் அவை எங்ஙனம் உண்டாகின்றனவென்பதை இன்னும் அறியவில்லை.

ஆனல், பச்சையத்திலிருந்து கடத்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான்களின் மாற்றத் தொடரில் பங்கேற்கும் காரணிகளை (Factors) அறிவோம். இறுதியில் எலெக்ட்ரான்கள் NADP-ஐக் குறைக்கின்றன என்பது தெளிவான ஒரு விவரம். ஒளிக்கிரியையில் இரு ஒளி ஈர்ப்பு நிகழ்ச்சிகள் இருப்பதையும் ஹில், பென்டால் என்பவர்கள் விளக்கினர். PSII, PSI, எனப்படும் ஒளிஈர்ப்பு நிகழ்ச்சிகள் உள்ளன; இவை இரண்டையும் இணைக்கும் தொடரே எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடர்; ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சிகளும் இடையே நிகழ்கின்றன; NADP இறுதியில் குறைக்கப்படுகின்றது; என்பவை தற்காலக் கோட்பாடுகளாகும்.

கார்பன் நிலைப்பாடு என்ற நிகழ்ச்சிகளிலும் பல புதிய பாதைகள் இருப்பதாக முன்னரே கண்டோம். சர்க்கரை, தரசம் போன்ற பொருள்களின் உற்பத்திக்காகவே அமைந்தது கார்பன் நிலைப்பாடு, என்ற நிலைமை மாறி, ஏனைய உணவுச் சத்துக்களின் அடிப்படைப் பொருள்களான, அமினே அமிலங்கள் கொழுப்பு அமிலங்கள், கிளிஸரால் போன்றவற்றையும், கார்பன் நிலைப்பாடு தன் கிளை அம்சங்களாகக் கொண்டிருப்பது தெளிவாகியது.

ஒளிச்சேர்க்கையை, ஒரு வேதியியல் மாற்றமென்றுமட்டும் கொள்ளமுடியாது. இது உயிரியலோடு இணைந்த ஒன்றாகும். இத் தத்துவத்தை முற்றிலும் காண முயலுகின்றனர். அயரா முயற்சி உள்ளவரை ஒளிச்சேர்க்கையைப்பற்றிய ஆய்வுகளும் முடிவடையா. தனிப்பட்ட வேதியியல் மாற்றங்களைக் கண்டறிவது எளிது. ஆனல் இது உயிரோடியைந்த உண்மையாயிற்றே! எனவே காலப்போக்கில் பல ஆய்வுகளின் முடிவுகள் பின்னிட்டு விடுகின்றன. எளிய அமைப்புடைய பசுந்தாவரங்கள்கூட, ஒளிச்சேர்க்கை நிகழ்கிறது. நித்தம், ஆடம்பரமின்றி நிகழ்வதாகும். அவைகளின் வாழ்க்கையில் அமைந்த பல்வேறு மாற்றங்களில், இது ஒன்றாகும். ஆனல், இதனை, உலக முழுவதையும் ஒரு நொடிப்பொழுதில் அழிக்கவல்ல சக்தி வாய்ந்த, அணுவாயுதங்களைத் தயாரித்த, விஞ்ஞானிகளே, குற்றமற, முற்றிலும் அறிய முடியவில்லை. இத்தகைய ஆக்க சக்தி வாய்ந்த தாவரங்களுக்கு, அறிவு படைத்த அனைவரும் சிரந்தாழ்த்த வேண்டுமல்லவா?

8. சிதை மாற்றங்களில் பங்குகொள்ளும் அம்சங்களும் ATP-யும்

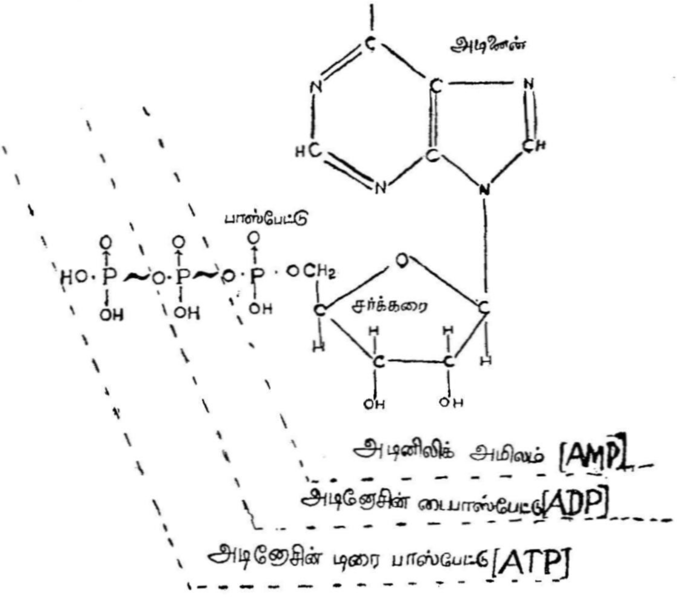
ATP (அடினேசின் டிரை ஃபாஸ்ஃபேட்டு)

கே. லோஹ்மேன் (K. Lohman) என்பவர் முதன் முதலில் தசையிலிருந்து அடினேசின் டிரை ஃபாஸ்ஃபேட்டு என்ற பொருளைப் பிரித்தெடுத்தார். மூன்று ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட இந்தக் கூட்டுப் பொருளே தாவரத்தின் வளர்சிதை மாற்றங்களிலெல்லாம் பங்குகொள்கின்றது. சக்தியூட்டப்படவேண்டிய கிரியைகளில் ATPயே தலைமை வகிக்கின்றது. எனவே அரிய கிரியைகளையும் எளிதில் முடிக்கும் திறனை, உயிரியக்கம் கொண்ட ஒவ்வொரு செல்லும் பெறுகிறது இதனால்தான் ATPஐ செல்லின் ஆற்றல் நாணயம் (Energy currency of the cell) என்றழைக்கின்றனர்.

உயர்ந்த கிரியா சக்தி வாய்ந்த மூலக்கூறுகளில் அங்ககப் பொருளிலிருந்து தோன்றிய ATP, GTP, UTP, CTP எனப்படும் ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளையும், கிரியேடின் ஃபாஸ்ஃபேட்டு (Creatin phosphate), அஸிடைல் ஃபாஸ்ஃபேட்டு (Acetyl phosphate), போன்றவைகளையும், ஃபாஸ்ஃபோ ஈனல் பைருவிக் அமிலம் (Phosphoenol pyruvic acid), 1, 3-டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் போன்ற அமில ஃபாஸ்ஃபேட்டுக்களையும்பற்றி நன்கு அறிந்துள்ளனர்.

மேற்கண்ட மூலக்கூறுகள் ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட சக்தி வாய்ந்த ஃபாஸ்ஃபேட்டு இணைப்புகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. இந்த இணைப்புகளை அலைபோன்ற கோடிட்டுக் குறிப்பிடலாம். நொதிகளின் வேதியியல் மாற்றங்களை ஆய்ந்த லிப்மேன் (Lipman) என்பவர் இத்தகைய இணைப்புகளைப்பற்றி விவரித்துள்ளார். மேற்கண்ட சக்தி வாய்ந்த இணைப்புகள் ஆக்ஸிஜன் அணுவிற்கும்

ஃபாஸ்ஃபரஸ் அணுவிற்கும் இடையே தோன்றலாம். ATP மூலக்கூறில் இத்தகைய இணைப்புகள் இரண்டு உள்ளன (படம் 8.1.) இவை சக்தி வாய்ந்த இணைப்புகள் எனக் கீழ்வரும் சோதனைகளால் அறிந்தனர்.



படம் 8.1. உயர் சக்தி வாய்ந்த ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள்

1. அடினைன் என்ற நைட்ரஜன் காரம் (Nitrogenous base).
2. ரிபோஸ் என்ற ஐந்து கார்பன்கள் கொண்ட சர்க்கரைப் பகுதி
3. மூன்று ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் தொடராக இணைந்திருத்தல்
   ∾ = சக்திவாய்ந்த இணைப்பு.

அஸிடைல் ஃபாஸ்ஃபேட்டு (Acetyl phosphote) என்ற மூலக்கூறு நீர் இணைத்தல் (Hydrolysis) என்னும் கிரியையில் ஏராளமான சக்தியை வெளியிட்டது. ஆனால் குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட் (Glucose-6-phosphoste) மூலக்கூறு நீர் இணைத்தலில் மிகக் குறைந்த அளவு சக்தியையே வெளியிடுகின்றது. இதனை —3 கிலோ கலோரி என்று கணக்கிட்டுள்ளனர். ஆனால் மேற்கண்ட அஸிடைல் ஃபாஸ்ஃபேட்டு அல்லது ATP-யின் நீர் இணைத்தலில்

வெளிவரும் சக்தி பொதுவாக—8 கிலோ கலோரி என்பர். இந்த எண்ணிக்கைகள் $\triangle$F என்ற சக்தி மாற்றத்தின் அளவாகும். $\triangle$F = —3 கிலோ கலோரி என்று குறிப்பிட்டால் அந்தக் கிரியை சக்தியை வெளிவிடும் கிரியை (Exergonic reaction) என்று பொருள். இதனை ($\triangle$F) சுயேச்சை சக்தி மாற்றம் என்றழைக்கின்றனர். எனவே $\triangle$F = —3 கிலோ கலோரி அளவுடன் $\triangle$F = —8·4* கிலோ கலோரியைச் சீர்தூக்கிப் பார்க்கையில் ATP-யின் நீர் இணைத்தலில் வெளிவரும் சக்தியே அதிகமாகிறது. இதனைக் குறிக்கும் முகமாக, லிப்மேன் இந்தச் சக்தி அனைத்தும் மேற்கண்ட (ஆக்ஸிஜன்-ஃபாஸ்ஃபரஸ்) இணைப்பில் பொதிந்து காணப்படுகிற தென்று கூறினர்.

ஆனல் இன்று ATP போன்ற கூட்டுப் பொருள்களில் சக்தி எங்ஙனம் பொதிந்து கிடக்கின்றது என்பதைத் தெளிவாக அறிய முடியவில்லையெனக் கருதுகின்றனர். இவற்றை மற்ற ஃபாஸ்ஃபேட்டுக் கூட்டுப் பொருள்களிலிருந்து வேறுபடுத்திக்-காட்ட ATP போன்ற பொருள்களை மிகுந்த கிரியா சக்தி வாய்ந்தவை எனக் குறிப்பிடுகின்றனர். குளுகோஸ் 6-ஃபாஸ்ஃபேட்டு போன்ற பொருள்களைக் கிரியா சக்தியில் குறைந்தவை அல்லது பின்னிட்டவை எனக் குறிப்பிடுகின்றனர்.

ATP மூலக் கூறின் அமைப்பு

படம் 8.1-ல் கண்டபடி ATP மூலக் கூறில் அடினைன் (Adenine) பகுதியும், ரிபோஸ் என்ற ஐந்து கார்பன் சர்க்கரையும், மூன்று ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதிகளும் காணப்படுகின்றன.

இதில் அடினைன்-சர்க்கரை-ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட்டு கொண்ட பகுதியினை அடினிலிக் அமிலம் (Adenylic acid) என்றழைப்பர். இந்தப் பகுதியோடு மற்றொரு ஃபாஸ்ஃபேட்டைச் சேர்த்த 'அடினைன்-சர்க்கரை-ஃபாஸ்ஃபேட்டு-ஃபாஸ்ஃபேட்டு' பகுதியினை அடினேசின் டைஃபாஸ்ஃபேட்டு (ADP) என்றழைப்பர். எஞ்சியுள்ள மூன்றும் ஃபாஸ்ஃபேட்டையும் சேர்த்தால், அதனை அடினேசின் டிரைபாஸ்பேட்டு (ATP) என்றழைப்பர்.

சோதனைக் குழலில், ATP மூலக்கூறினை, நீர் இணைத்தல் கிரியைக்கு உட்படுத்தினல், கடைசியில் அமைந்த ஃபாஸ்ஃபேட்டு பகுதி துண்டிக்கப்பட்டு ADP உண்டாகிறது. ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்

---

*சில சூழ்நிலைகளில் ATP-யின் நீர் இணைத்தல் கிரியையில் வெளிப்படும் சக்தி $\triangle$F = —12,5 கிலோ கலோரி ஒரு மூலக் கூறுக்கு எனக் கணக்கிடுவர்.

கூறும் அங்கு வெளி விடப்படுகின்றது. இந்நிகழ்ச்சியில் வெப்பமாக வெளிப்படும் சக்தி பயனற்ற சுயேச்சை சக்தி மாற்றம் (Entropy change) எனப்படும் அனல்மின் இயங்குவியலின் இரண்டாம் விதிப்படி மேற்கண்ட கிரியையில் வெளிவரும் சக்தி வெப்பமாகி வீணுவதால் ATP மூலக் கூறு, சக்தி மாற்றத்தில் நஷ்டம் அடைகிறது.

ஆனல் தாவரத்தில் ATP-யின் நீர் இணைத்தல் கிரியைகளோடு ஃபாஸ்ஃபரீகரணக் கிரியைகள் இணைந்திருக்கின்றன.

குளுகோஸ் + ATP ————→ குளுகோஸ் 6 ஃபாஸ்ஃபேட்டு + ADP

இதை இரு படிகளில் குறித்தால் கீழ்வரும் சமன்பாடுகள் வரையலாம்.

(1) ATP ————→ ADP + P நீர் இணைத்தல்
←———— (ஃபாஸ்ஃபேட்டு)

(2) குளுகோஸ் + ஃபாஸ்ஃபேட்டு ———→ குளுகோஸ் 6 ஃபாஸ்ஃபேட்டு

எனவே ATP மூலக் கூறிலிருந்த ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட்டு பகுதி துண்டிக்கப்பட்டு ஏற்பாணுகிய குளுகோஸ் மூலக் கூறுடன் இணைகிறது. எனவே, வெளிப்படும் சக்தி ஃபாஸ்ஃபரீகரணக் கிரியை உருவில் மாற்றம் அடைகிறது அல்லது ஃபாஸ்ஃபரீகரணக் கிரியை நிகழ்த்தப் பயன்படுகிறது. ஏனெனில் மேற்கண்ட குளுகோஸ் சர்க்கரையின் ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சி நடைபெற சக்தி தேவைப் படுகின்றது (Endergonic reaction).

உயிர்ச் செயல்கள் தமக்குத் தேவைப்படும் சக்தியை இங்ஙனம் பெறுகின்றன. இதற்குமுன் குறிப்பிட்ட ஃபாஸ்ஃபேட்டுக் கூட்டுப் பொருள்களின் நீர்இணைத்தல் கிரியைகள் உறுதுணையாகின்றன.

இணைநொதிகள் (Co-enzymes)

புக்னர் ஈஸ்ட்டு செல்லின் சாரத்தைக்கொண்டு சர்க்கரையை நொதிக்கச் செய்தார் எனக் கண்டோம்.

இந்த சாரத்தை டயலிஸிஸ் (Dialysis) முறைப்படி பிரித்ததில் கரையக்கூடியதும், உருவத்தில் சிறியதும், புரதமில்லாததுமான ஒரு பொருள் டயலிஸிஸ் சவ்வை விட்டகன்றது. அது நொதித்தலுக்குத் தேவையான பொருள் என்று கண்டுபிடித்தனர்.

எனவே நொதிப் புரதங்களோடு இணைந்தாற்போல் இவை காணப் படுகின்றனவென்பதும், நொதிகளின் வினைகளில் இவை பங்கு கொள்கின்றனவென்பதும் தெளிவாகியது. இவற்றை இணை நொதிகள் என்பர். மேலும் இவற்றைப் புரோஸ்தடிக் குழுக்கள் (Prosthetic groups) எனவும் அழைப்பர். புரதப் பகுதியை அபோ என்ஸைம் (Apo enzyme) என்பர். இரண்டும் தனித்தனியாக வினை புரிவதில்லை. பொதுவாக ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சிகளில் பங்கு கொள்ளும் நொதிகள், இணைநொதிகளோடு அமைந்த அமைப் பிலேதான் வினைபுரிகின்றன, இத்தகைய ஆக்ஸீகரண இணை நொதி-நொதி அல்லது நொதியும் இணைநொதியும் சேர்ந்த அமைப்பான ஹோலோ என்ஸைம்களில் (Holo enzymes) பல் வகைகள் உள்ளன.

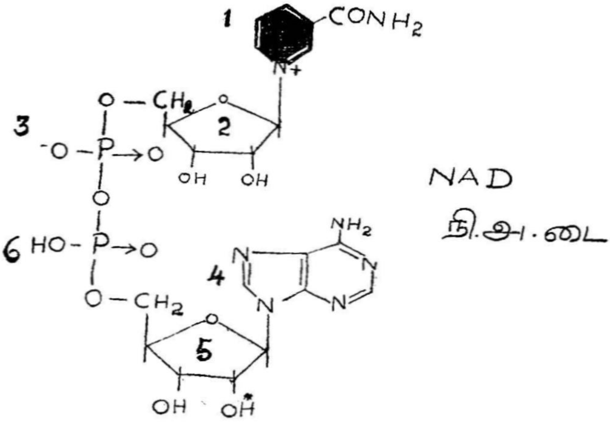
முன்னர் பிரிடினே புரதங்கள் என்றழைக்கப்பட்ட புரதங்கள் இத்தகைய ஹோலோ என்ஸைம்களின் வரிசையில் வைக்கப்படு கின்றன. இவைகளில் காணப்படும் இணைநொதிகளை நிகோடின மைட் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் (Nicotinamide adenine dinucleotide) என்று தற்போது அழைக்கின்றனர். இவைகளைத் தவிர ஃப்ளேவின் புரதங்களும் (Flavo proteins), ஹீம் புரதங் களான (Haeme proteins) ஸைடோகுரோம்களும், ஹோலோ என்ஸைம்களாக வினைபுரிகின்றன.

பிரிடினே புரதங்கள்

ஈஸ்ட்டு சாரத்திலிருந்து, ஹென்ஸ் வான் யூலர் (Hansvon Euler) என்பவர் கோஸைமேஸ் (Cozymase) என்று அழைக்கப் பட்ட பிரிடினே புரதத்தைப் பிரித்தெடுத்தார். இதனைத் தொடர்ந்து வார்பர்க் (Warburg), கிரிஸ்டியன் (Christian) என்ற இருவர் ரத்தத்திலிருந்த சிவப்பணுக்களிலிருந்து மற்றொரு கூட்டுப் பொருளைப் பிரித்தெடுத்தனர். இது குளுகோஸ் 6 ஃபாஸ்ஃபேட்டை குளுகோனிக் அமிலமாகச் சிதைக்கிறது. ஈஸ்டிலிருந்து கண் டெடுத்ததைக் கோ என்ஸைம் I (Co enzyme I) என்றும் வார்பர்க் கண்டெடுத்ததைக் கோ என்ஸைம் II என்றும் அழைத்தனர்.

இவை யிரண்டும் பல அம்சங்களில் ஒத்திருந்தன. இரண்டை யும் நீர் இணைத்தல் கிரியைக்குட்படுத்தினால் D-ரிபோஸ் (D-ribose) என்ற ஐந்து கார்பன் சர்க்கரையும், அடினைனும், நிகோடினமைடும் (Nicotinamide), ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமில மூலக் கூறுகளும் கிடைத் தன. கோ என்ஸைம் II, கோ என்ஸைம் I-ஐவிட மேலும் ஒரு ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமில மூலக் கூறைப் பெற்றிருந்தது.

படம் 8.2-ல் இவைகளின் அமைப்பைக் காண்க. கோஎன்ஸைம் I-ன் அமைப்பில் இரு நியூக்ளியோடைடுகள் காணப்படுகின்



பகுதி 8.2. NAD

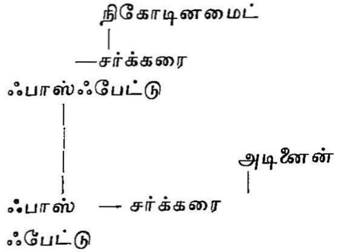
1. = நிகோடினமைட் பகுதி
2. = ரிபோஸ் சர்க்கரை
3. = ஃபாஸ்ஃபேட்டு
4. = அடினைன்
5. = ரிபோஸ் சர்க்கரை
6. = ஃபாஸ்ஃபேட்டு

நிகோடினமைட்—ரிபோஸ்—ஃபாஸ்ஃபேட்டு
|
அடினைன்—ரிபோஸ்—ஃபாஸ்பேட்டு

* = (OH) ஹைடிராக்ஸில் பகுதிக்குப் பதிலாக ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதி இருக்குமானால் அந்த மூலக்கூறு (NADP) நிகோடினமைட் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் ஃபாஸ்பேட்டாக மாறும்.

றன. 'நிகோடினமைட்-சர்க்கரை-ஃபாஸ்ஃபேட்' என்பது ஒரு நியூக்ளியோடைட் அமைப்பாகும்; 'அடினைன்-சர்க்கரை-ஃபாஸ்ஃ

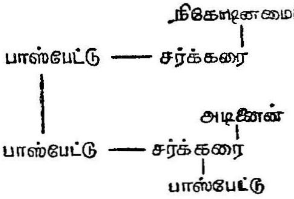
பேட்' என்பது மற்றுமொரு நியூக்ளியோடைட் அமைப்பாகும். இவ்விரண்டும் தத்தம் ஃபாஸ்ஃபேட்டுப் பகுதிகளால் இணைந்துள்ளன.



படம் 8.3.

கோ என்சைம் I (NAD)

கோ என்சைம் I மேற்கண்ட அமைப்பினால் நிகோடினமைட் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் (Nicotinamide adenine dinucleotide) என்றழைக்கப்படுகின்றது. கோ என்சைம் II-வில் மேலும் ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதி அதிகமாகக் காணப்படுகிறது. இது ரிபோஸ் சர்க்கரையின் 2-ஆம் கார்பன் இணைப்பில் அமைந்துள்ளதாகக் கண்டுபிடித்துள்ளனர். எனவே இதனை நிகோடினமைட் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் ஃபாஸ்ஃபேட்டு என்றழைக்கின்றனர்.

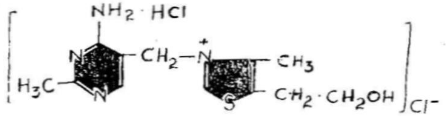


படம் 8.4.

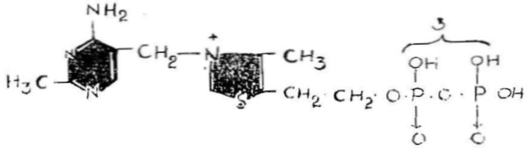
கோஎன்சைம் II (NADP)

இந்த இரு கோஎன்சைம்களில் காணப்படும் நிகோடினமைட் பகுதி B வைட்டமின்களில் ஒன்றாகும். B வைட்டமின்களில் பல நொதிகளின் இணைநொதிகளாக வினைபுரிகின்றன. தயமின் ஹைடிரோ குளோரைடு என்ற பொருள் B_1 வைட்டமின் எனப்படும். இதில் அமைந்துள்ள தயமின், பைரோஃபாஸ்ஃபேட்டுடன்

இணைந்து, தயமின் பைரோபாஸ்பேட்டாக மாறி டீகார்பாக்ஸை லேஸ் என்ற நொதியுடன் வினைபுரிகிறது (படம் 8.5.)

1 

வை. B_1
தை. ஹை. கு.

2 

TPP
தை.பை.

படம் 8.5.

ரைபோஃப்ளேவின் என்ற பொருள் B_2 வைட்டமின் எனப்படும். அது ஃப்ளேவின் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் (Flavin adenine dinucleotide) என்ற உருவில் இணைநொதியாக வினைபுரிகின்றது. மேலும் ஃப்ளேவின் மோனோ-நியூக்ளியோடைட் என்ற பொருளும் முன் குறிப்பிட்டதைப்போல் இணைநொதியாக வினைபுரிகின்றது.

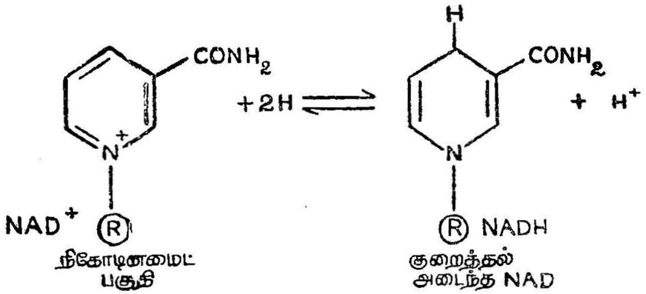
நிகோடினமைடிலுள்ள நிகோடினிக் அமிலம், நிகோடினமைட் உருவத்தில் NAD^+, $NADP^+$ என்ற இணைநொதிகளில் காணப்படுகின்றது.

பேன்டோதினிக் அமிலம் (Pantothenic acid), கோஎன்ஸைம் ஏ (Coenzyme A)-யின் அமைப்பில் காணப்படுகின்றது. இங்ஙனம் B வைட்டமின்கள் பல நொதிகளின் முக்கிய அம்சங்களாக அமைந்ததைக் கவனிக்கவும். தாவரங்களில் நிகழும் சிதைமாற்றங்களில் வினைபுரியும் நொதிகள் பலவற்றிற்கு B வைட்டமின்கள் முக்கியப் பகுதிகளாக அமைந்திருத்தலால், வைட்டமின்கள் ஒரு தாவரத்தின் வாழ்க்கைக்கு ஊட்டமளிக்கும் பொருள்களாகின்றன. மனிதனின் உணவில் B வைட்டமின்கள் சேரவேண்டும் என்பதை நாம் அறிவோம். தாவரங்களில் நிகழும் சிதைமாற்றங்களும் மனிதனின் சிதைமாற்றங்களுடன் ஒத்திருத்தலைக் காண்க.

நொதிகள் தளப் பொருள்களை ஆக்ஸிகரணிக்கும்போது இணைநொதிகள் எடுத்துக்கொள்ளும் பங்கு

ஆக்ஸிகரணத்தில் ஊக்கியாகும் நொதிகளை டீஹைடிரோஜினேஸ்கள் (Dehydrogenases) என்றழைக்கின்றனர். இவை

களோடு இணைந்த கோஎன்ஸைம்கள் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியில் ஈடுபடும் பகுதிகளாகும். தளப் பொருள்களிலிருந்து அகற்றப்படும் ஹைடிரஜன்கள், நிகோடினமைட் பகுதியில் வந்து பொருந்துவதால், அதன் வளைய அமைப்பில் மாற்றம் ஏற்படுகின்றது.



படம் 8.6.

இங்ஙனம் இணைநொதியின் நிகோடினமைட் பகுதி குறைத்தல அடைவதினால் NAD, $NADH_2$ என்று மாற்றம் அடைகிறது. எனவே இணைநொதி தளப்பொருளின் ஆக்ஸீகரணத்தில் முக்கியப பங்கேற்கிறது என்பது தெளிவாகும். மேலும் ஹைடிரஜன்களை ஏற்கும் பணியில் குறிப்பிடத்தக்க முறையில் ஈடுபடுவது வைட்டமின் B வகையைச் சேர்ந்த நிகோடினமைட் என்ற பொருள் என்பதும் பெறப்படும். கோஎன்ஸைம் I-ம், கோஎன்ஸைம் II-ம் பல நொதிகளின் வினைகளில் ஊக்கிகளாக அமைந்தபோதும் ஒன்றிற்குப் பதிலாக மற்றொன்று வினைபுரிவதில்லை.

3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடு என்ற தளப்பொருளின் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியில் NAD (கோஎன்ஸைம் I) ஊக்கியாகின்றது. இதற்குப் பதிலாக NADP என்ற இணைநொதி பயன் படாது.

சுமார் 100 நொதிகள் மேற்கண்ட NAD அல்லது NADP என்ற இணைநொதிகளில் ஒன்றைத் துணைக்கொள்ளுகின்றன.

டீஹைடிரோஜினேஸ் நொதிகளுக்குப் பெயரிடுகையில் தளப் பொருளின் பெயரையும் சேர்த்து அழைப்பர். பைருவிக் அமிலத்தை ஆக்ஸீகரணிக்கும் நொதியைப் பைருவிக் டீஹைடிரோஜினேஸ் என்றழைப்பர்.

மேலும் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் பங்குகொள்ளும் ஆக்ஸீகரண நொதிகளை, ஐஸோ சிட்ரிக் டீஹைடிரோஜினேஸ், ஆல்பா கீடோ குளுடாரிக் டீஹைடிரோஜினேஸ் போன்ற பெயர்களால் குறிப்பிடுவர். ஆனால் இது தளப் பொருள்களை அமிலமாகக் கருதியதைக் குறிக்கும். பெரும்பாலும் செல்லினுள் அமிலங்கள் அயனிகளாகக் (Ions) காணப்படுவதால் ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலத்தை ஐஸோ சிட்ரேட் என்று அழைக்கவேண்டும். எனவே நொதிகளின் பெயர்களை மாற்றி, ஐஸோ சிட்ரேட் டீஹைடிரோஜினேஸ் (Isocitrate dehydrogenase) என்று குறிப்பிடவேண்டும்.

ஃப்ளேவின் நொதிகள் (Flavo proteins)

முன்கண்ட நிகோடினமைட் இணைநொதிகள் தாம் ஏற்றுக்கொண்ட ஹைடிரஜனை (எலெக்ட்ரான் உருவில்) நேர்முகமாக ஆக்ஸிஜனுடன் சேர்ப்பதில்லை.

எனவே இதற்கு இடையில் வினைபுரியும் நொதி அமைப்பு ஒன்று உள்ளதெனப் பரிசோதனைகளின் வாயிலாக அறிந்தனர். இவை ஃப்ளேவின் புரதங்கள் என்று தெளிவுபடுத்தினர்.

B_2 என்ற ரிபோஃப்ளேவின், ஃப்ளேவின் இணைநொதிகளின் அமைப்பில் காணப்படுவதை முன்னரே அறிந்தோம். ஃப்ளேவின் மோனோ நியூக்ளியோடைட் என்ற இணைநொதியின் அமைப்பில் காணப்படும் சர்க்கரை மற்ற நியூக்ளியோடைட் அமைப்புகளில் உள்ள ரிபோஸ் சர்க்கரையாக இராமல் ஆல்கஹால் அமைப்பான ரிபிடைல் உருவத்தில் காணப்படுகிறது. இதனுடன் ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட்டு இணைந்திருக்கிறது. (படம் 8.9).

ஃபாஸ்ஃபேட்டு
|
ரிபிடைல்
|
ஃப்ளேவின்

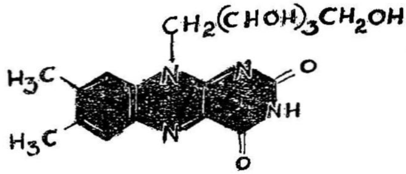
ஃப்ளேவின் மோனோ நியூக்ளியோடைட்
(Flavin mononucleotide or FMN)

படம் 8.7.

அடினைன்— ரிபோஸ்—ஃபாஸ்ஃபேட்டு
|
ஃப்ளேவின்—ரிபிடைல்—ஃபாஸ்ஃபேட்டு

ஃப்ளேவின் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட்
(Flavin adenine dinucleotide FAD)

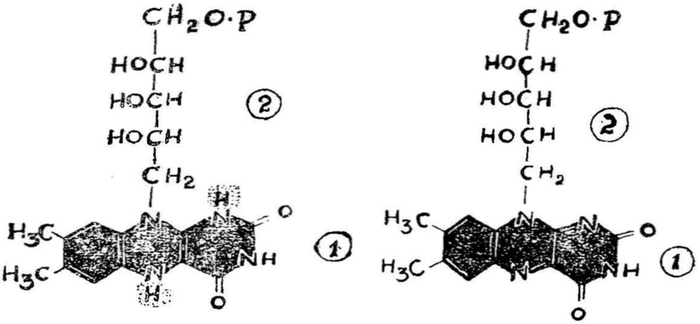
நிகோடினமைட் இணைநொதிகளைப்போல், இவைகளும் குறைத்தல் அடையும்போது, ஃப்ளேவின் பகுதியில் உள்ள பல வளையங்களில் ஒன்று ஹைடிரஜன்களை ஏற்கின்றது.



1. வை. B_2
ரை.

படம் 8.8. FMN

வை. B_2 ரை. } = வைட்டமின் B_2, ரைபோ ஃப்ளேவின்



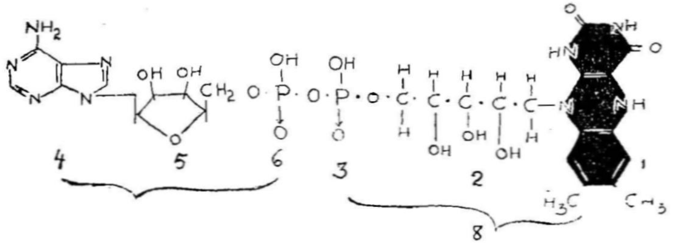
படம் 8.9.

1. = ஃப்ளேவின்

2. = ரிபிடைல் ஃபாஸ்ஃபேட்டு

FMN அல்லது ஃப்ளேவின் மோனோ நியூக்ளியோடைட் குறைத்தல் அடையும்போது ஃப்ளேவின் வளையங்களின் 1, 10 பகுதிகளில் ஹைடிரஜனை ஏற்கின்றது. இதனால் FMN—$FMNH_2$ ஆகிறது.

ஃப்ளேவின் அடினைன் டை நியூக்ளியோடைட் என்ற இணை நொதியில் இரு நியூக்ளியோடைடுகள் அமைந்திருக்கின்றன. (படம் 8.10).



படம் 8.10. $FADH_2$

1. = ஃப்ளேவின் பகுதி
2. = ரிபிடைல் பகுதி
3. = ஃபாஸ்ஃபேட்டு
4. = அடினைன்
5. = ரிபோஸ் சர்க்கரை
6. = ஃபாஸ்பேட்டு
7. = அடினைன்—ரிபோஸ்—ஃபாஸ்ஃபேட்டு
8. = ஃப்ளேவின்—ரிபிடைல்—ஃபாஸ்ஃபேட்டு

$FADH_2$ = ஃப்ளேவின் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட்
ஃபாஸ்ஃபேட்டு குறைத்தல் அடைந்த நிலை ஃப்ளேவின் வளையங்களின் 1, 10 பகுதிகளில் ஹைடிரஜன் ஏற்கப்பட்டுள்ளது.

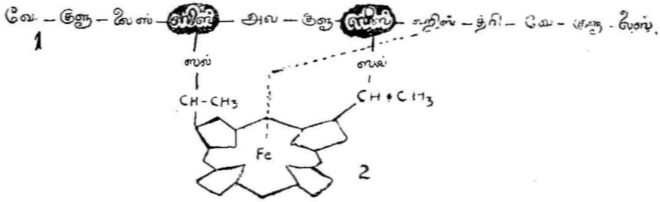
சைட்டோகுரோம்கள்

1925-ல் கீலின் (Keilin) தசையிலிருந்து பிரித்தெடுக்கப் பட்ட இரும்புச் சேர்க்கையுள்ள பொருளுக்கு "சைட்டோகுரோம்" என்று பெயரிட்டார். காற்றுவாழ் உயிரினங்கள் அனைத்திலும் சைட்டோகுரோம் காணப்படுகிறது.

சைட்டோகுரோம்கள் ஆக்ஸிஜனை ஏற்று வெளிவிடும் தன்மை யுடையன என்று கண்டுபிடித்தனர். அவைகள் ஆக்ஸிகரணிக்கப் பட்ட நிலையில் ஓர் ஒளிஈர்ப்பு நிறமாலையைக் கொண்டுள்ளன வென்றும், குறைத்தல் அடைந்த நிலையில் வேறொருவகை ஒளி ஈர்ப்பு நிறமாலையைக் கொண்டிருக்கின்றனவென்றும் கண்டனர். ஹைடிரஜன்களை ஏற்றபோது சைட்டோகுரோம்கள் புதிய ஒளி அலைகளை ஈர்க்கின்றன. பச்சை அப்போது ஒளிநிற மாலையின் ஆரஞ்சுப் பகுதிகளுக்கு இடைப்பட்ட ஒளி அலைகளை ஈர்த்து ஒளிநிற மாலையில் நான்கு ஒளிஈர்ப்புப் பட்டைகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இந்நிலையில் அவைகளுக்கு ஆக்ஸிஜனை அளித்தால், மேற்கண்ட நான்கு ஒளிஈர்ப்புப் பட்டைகளும் மறைந்துவிடுகின்றன. இதனால் இவை, தாம் ஏற்ற ஹைடிரஜனை ஆக்ஸிஜன் இங்கு ஏற்பது இதனால் பெறப்படும்.

கீலின், சைடோகுரோம்கள் a, b, c என மூன்று வகைப்படு கின்றன என்று கண்டுபிடித்தார். ஆனால் இன்று இருபதுக்கும் மேற்பட்ட சைடோகுரோம் வகைகளைக் கண்டுபிடித்துள்ளனர்.

ஹோலோ என்சைம்களாக அமைந்த இவற்றில் அமைந்த புரோஸ்தடிக் பகுதி, ஹீம் உருவம் எனப்படும். ஹீம் உருவம், நான்கு பார்பைரின் வளையங்களைக்கொண்ட பகுதியாகும். அத் தகைய பார்பைரின் வளையங்களுக்கு உட்புறத்திலுள்ள பகுதியின் மையத்தில் (படம் 8.11) இரும்பு அணு காணப்படுகின்றது. அபோ



படம் 8.11. சைடோகுரோம் C-யும் புரதச் சங்கிலியும்

1. = புரதச் சங்கிலி
வே. = வேலின், குளு = குளுடாமேட், ஸிஸ்-ஸிஸ்டின்
அல. = அலனின், ஹிஸ் = ஹிஸ்டிடின், லைஸ் = லைசின்
த்ரி. = த்ரியோனின்
2. = பார்பைரின் பகுதி
ஸல். = ஸல்ஃபர் பார்பைரினுக்கும் புரதச் சங்கிலிக்கும் இடையே ஸிஸ்டின் = ஸல்ஃபர் பாலங்கள் ஏற்படுகின்றன.
.........விடுபட்டக்கோடுகள் ஹிஸ்டிடின் என்ற அமினோ அமிலத்தை யும், இரும்பையும் இணைக்கும் பாலத்தைக் குறிப்பிடுகின்றன.

என்சைம் பகுதியோடு இவை இணைந்துள்ளன. இதற்கு அந்த நொதிப் புரதத்தில் காணப்படும் சல்பைட்ரைல் பகுதிகள் உதவு கின்றன.

முன்னர் குறிப்பிட்டபடி சைடோகுரோம்கள் பலவகைப் பட்டன என்று அறிவோம். அவற்றின் வேற்றுமைகள் பார் பைரின் அமைப்பையும், புரதத்துடன் அவை இணைந்த முறையை யும் பொருத்ததாகும்.

சைடோகுரோம்கள் ஆக்ஸீகரணம் அடையும்போது அவற்றி லுள்ள இரும்பு ஃபெர்ரஸ் (Ferrous) நிலையிலிருந்து ஃபெர்ரிக் நிலைக்கு மாறுகின்றது.

குறைத்தல் அடைந்த சைடோகுரோம்கள் நேர் முகமாக ஆக்ஸிஜனால் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுவதில்லை. செல்லினுள் இந்தக் கிரியை ஊக்குவிக்க மற்றொரு நொதிப்புரதம் காணப்படுகிறது. அதுவும் ஹீம்பைரோல் புரதமாகும். இதனை சைடோகுரோம் ஆக்ஸிடேஸ் (Cytochrome oxidase) என்றழைக்கின்றனர்.

சயனைடு (Cyanide), ஹைடிரஜன் ஸல்பைடு (Hydrogen sulfide), சோடியம் அஸைடு (Sodium azide) போன்ற நச்சுப் பொருள்கள் ஸைடோகுரோம் ஆக்ஸிடேஸைப் பாதிக்கின்றன.

இது ஹீம் புரதங்களையும், ஏனைய ஸைடோகுரோம்களையும் உருவத்தில் ஒத்திருக்கின்றது. அண்மையில் இந்த நொதிப்புரதம், காப்பர் (செம்பு—Copper) அணுக்களையும் கொண்டிருக்கிறது எனக் கண்டுபிடித்துள்ளனர். இந்த உலோகம் எலெக்ட்ரான்களை எடுத்துவிடும் தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றது எனவும் கண்டு பிடித்துள்ளனர்.

ஸைடோகுரோம்கள் குறைத்தல் அடையும்போது அவற்றின் ஃபெர்ரிக்நிலை ஃபெர்ரஸ் நிலைக்கு மாறுகின்றது என முன்னரே கண்டோம். தளப் பொருள்களிலிருந்து கடத்தப்பட்டு ஸைடோ குரோம்களை அடையும் ஹைடிரஜன், எலெக்ட்ரானை ஸைடோ குரோமிற்கு அளித்து, அயனி உருவில் அந்த நொதிக்கு அருகி லேயே காணப்படுகின்றது. பின்னர் ஸைடோகுரோம் ஆக்ஸி டேஸ் வழியாக எலெக்ட்ரான்கள் ஆக்ஸிஜனை அடையும் தருவாயில் முழு ஹைடிரஜன் மூலக்கூறு உண்டாகிறது. பின்னர் இவை போன்ற ஹைடிரஜன் மூலக்கூறுகள் ஆக்ஸிஜன் மூலக் கூறுகளுடன் இணைந்து நீரை உண்டுபண்ணுகின்றன.

ஸைடோகுரோம் ஆக்ஸிடேஸை, ஸைடோகுரோம் a_3, ஸைடோகுரோம் a_2 என வகைப்படுத்துவர். ஆக்ஸிஜனுடன் இவை வினைபுரிவதால் இவற்றை முடிவு ஆக்ஸிடேஸ்கள் (Terminal oxidases) என்றழைக்கின்றனர். எனவே காற்றுவாழ் உயிரினங்கள் அனைத்தும் இதனைப் பெற்றிருக்கவேண்டும் என்பது பெறப்படும்.

மேற்கண்ட பிரிடின் புரதங்களின் பகுதிகளான NAD, NADP முதலியனவும், ஃப்ளேவின் புரதங்களும், ஸைடோகுரோம்களும் எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரில் பங்கு கொள்கின்றன. இவற்றைத் தவிர ஹீம் உருவமில்லா இரும்பு அல்லது தாமிரக் கலப்புள்ள புரதங்களும் எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடர் அமைப்பு களில் காணப்படுகின்றன.

ஹீம் உருவமில்லா இரும்புப் புரதங்களும் தாமிரப் புரதங்களும்

இவை ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட எண்ணிக்கையுள்ள இரும்பு அல்லது தாமிர அணுக்கள் புரதத்துடன் இணைந்த ஹோலோ என்ஸைம்களாகின்றன. புரதத்தில் உள்ள சல்பருடன் இவை இணைந்துள்ளன. இங்ஙனம் இணைந்துள்ள உலோகம் எந்த அமைப்பிலுள்ளது என்பது தெளிவாகத் தெரியவில்லை. புரதத்திலிருந்து பிரித்தெடுக்கும்போது அனங்கக உருவிலுள்ள

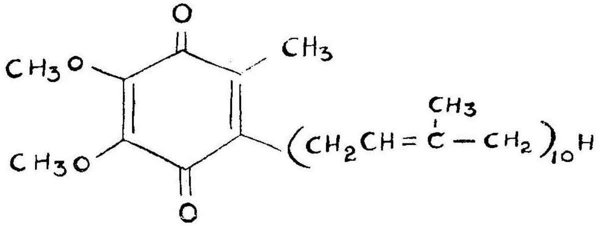
இரும்பு அல்லது தாமிர அணுக்களே கிடைப்பதால், புரதத்தோடு அமைந்த மேற்கண்ட புரோஸ்தடிக் அமைப்புகளைத் தெளிவாக அறிய முடியவில்லை. எனவே இவற்றை ஹீம் உருவமில்லா இரும்புப் புரதங்கள் என்றோ அல்லது தாமிரப் புரதங்கள் என்றோ அமைக்க முடியுமேதவிர, ஏனைய சைடோகுரோம்களைப் போன்று ஹீம் உருவத்தோடு ஒத்த அமைப்பில் குறிப்பிட முடியாது.

இத்தகைய ஹீம் உருவமில்லா இரும்புப் புரதங்கள் $NADH_2$வை ஆக்ஸீகரணிக்கும் நொதிக் குழுவிலும், ஸக்ஸினேட் டீஹைடிரோஜினேஸ் நொதிக் குழுவிலும், குறைத்தல் அடைந்த CoQவை ஆக்ஸீகரணிக்கும் நொதிக் குழுவிலும் காணப்படுகின்றன. இவற்றைக் காம்ப்ளெக்ஸ் I, காம்ப்ளெக்ஸ் II, காம்ப்ளெக்ஸ் III எனக் குறிப்பிடலாம்.

தாமிரப்புரதம் சைடோகுரோம் Cஐ ஆக்ஸீகரணிக்கும், இறுதியாக அமைந்த காம்ப்ளெக்ஸ் IV-ன் நொதிக் குழுவில் காணப்படுகிறது.

கோ என்ஸைம் Q (Co enzyme Q)

எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரில் கோஎன்ஸைம் Q என்ற பொருள் பல நொதிக் குழுக்களிடையே எலெக்ட்ரான்களைக் கடத்துகின்றது. இதனை யூபிக்வினோன் (Ubiquinone) என்றும் அழைப்பர். இது ஒரு குவினோன் (Quinone) பகுதியையும் பாலி ஐஸோபிரினாய்டு பக்கச் சங்கிலியையும் (Polyisoprenoid side chain) கொண்டுள்ளது (படம் 8.12).



படம் 8.12

இது வைட்டமின் K_1-ஐப்போன்ற அமைப்புடையது. பல பொருள்கள் இத்தகைய குவினோன்-ஐஸோபிரீன் பக்கச் சங்கிலி அமைப்பைக் கொண்டிருக்கின்றன. இவை தத்தம் கொண்டுள்ள ஐஸோபிரீன் அலகுகளின் எண்ணிக்கையில்தான் வேறுபடுகின்றன. இவையனைத்திலும் குவினோன் பொருள் காணப்படுவதால்

குவினோன்களுக்கு இயற்கையான ஆக்ஸீகரண - குறைத்தல் நிகழ்ச்சிகளில் ஈடுபடுகின்றன. இவை ஆக்ஸீகரணமடைந்த நிலையில் குவினோன் உருவில் காணப்படுகின்றன. குறைத்தல் அடைந்த நிலையில் ஹைடிரோகுவினோன் உருவில் காணப்படுகின்றன.

$$\text{ஹைடிரோகுவினோன்} \underset{\text{ஆக்ஸீகரணம்}}{\overset{\text{குறைத்தல்}}{\rightleftarrows}} \text{குவினோன்}$$

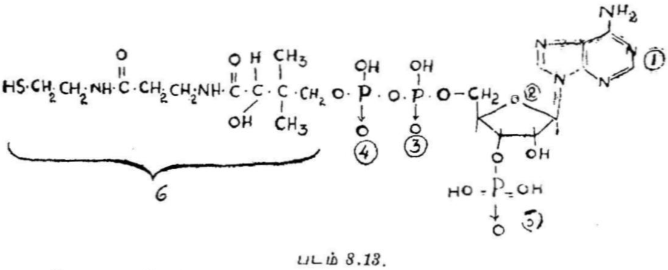
எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரில் கோஎன்ஸைம் Q, முதல் இரண்டு நொதிக் குழுக்களுக்கும், மூன்றும் நொதிக் குழுக்கும் இடையில் எலெக்ட்ரான்களைக் கடத்தும் பணியில் ஈடுபடுகின்றது (படம்9.11).

அஸிடைல் கோ என்ஸைம் ஏ

செல்லினுள் சக்தியைச் சேமிக்கும் பொருள்கள் ATP என அறிவோம். அதைத் தவிர ஏனைய ஃபாஸ்ஃபேட்டுக் கூட்டுப் பொருள்களும் சக்தியைச் சேமிக்கின்றன.

சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டுடன் வினை புரிகிறது. அஸிடேட்டிலிருந்து அஸிடைல் பொருள்களை உற்பத்திசெய்யும் கிரியைகளில் நொதிகளும், ATP-யும் தேவைப்படுகின்றன. ஆனால் 1945-ல் லிப்மேன் பாக்டீரியாக்களிலிருந்து ஒரு புதிய பொருளைக் கண்டுபிடித்தார். இது வெப்பத்தினால் பாதிக்கப்படுவதில்லை. இதற்கு கோஎன்ஸைம் ஏ (Coenzyme A) என்று பெயரிட்டார்.

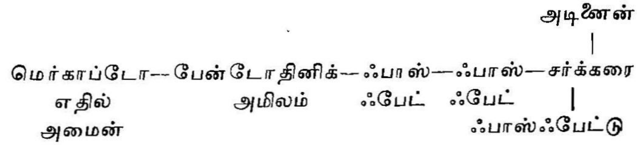
கோ என்ஸைம் ஏ-யின் அமைப்பு



படம் 8.13.

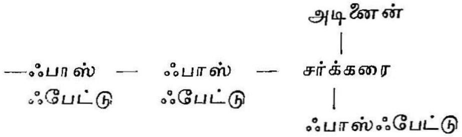
1. = அடினைன்
2. = ரிபோஸ் சர்க்கரை
3. = ஃபாஸ்ஃபேட்டு
4. = ஃபாஸ்ஃபேட்டு
5. = ஃபாஸ்ஃபேட்டு
6. = பேன்டோதினிக் அமிலம்

B வைட்டமின்கள் தாவரங்களின் வாழ்க்கையில் முக்கிய அம்சங்களாகின்றன என்று பார்த்தோம். பேன்டோதினிக் அமில மும் B வைட்டமின்களின் வகையைச்சேர்ந்தது. கோஎன்ஸைம் A-யின் அமைப்பில் பேன்டோதினிக் அமிலம் (Pantothenic acid), மெர்காப்டோ எதில் அமைன் பகுதியோடும் அடினைன் நியூக்ளியோ டைடுடனும் இணைந்திருக்கிறது.

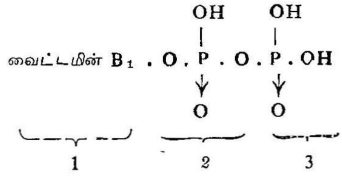


படம் 8.14. கோஎன்ஸைம்

இங்கு அமைந்த அடினைன் நியூக்ளியோடைட் மற்ற அடினைன் நியூக்ளியோடைடுகளைப்போலில்லாமல் வேறு வகையில் அமைந் திருக்கின்றது.



படம் 8.15. தயமின் பைரோ ஃபாஸ்ஃபேட்டு (TPP)



1 = தயமின் (ஹைட்ரோ குளோரைடு)

2. = ஃபாஸ்ஃபேட்டு

3. = ஃபாஸ்ஃபேட்டு

மேற்கண்ட கோ என்ஸைம் பகுதியில் முக்கியமான பகுதி இறுதியில் அமைந்த சல்பைட்ரைல் பகுதியாகும். எனவே இதனைக் குறிப்பிடும்போது HS கோ என்ஸைம் A (HS CoA or HS Co enzyme A) என்று குறிப்பிடுகின்றனர். கார்போஹைடிரேட்டு

சிதைமாற்றங்களில் பைருவிக் அமிலம் அடையும் மாற்றங்களை ஆய்வோம். பைருவிக் அமிலத்தின் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியின் முதல் கிரியையில் ஒரு கார்பன், கார்பன்-டை–ஆக்ஸைடாக வெளி விடப்படுகிறது. எஞ்சியுள்ள அஸிடால்டிஹைடு பகுதி ஆக்ஸீகரணம் அடைந்து அஸிடைல் பகுதியாகிறது. கோ என்ஸைம் A இதனை ஏற்று அஸிடைல் கோ ஏ-ஐத் தோற்றுவிக்கிறது. இந்த அமைப்பில் அஸிடைல் பகுதி ஊக்குவிக்கப்பட்டது எனலாம். இதனால் அது உயர்ந்த சக்திவாய்ந்த பொருளாகின்றது.

கொழுப்பு அமிலங்கள் (Fatty acids) சிதைவுற்று, கோஎன்ஸைம் A-யுடன் வினைபுரிந்து அஸிடைல் கோ ஏ பகுதிகளை உண்டு பண்ணுகின்றன. கொழுப்பு அமிலங்கள் பல கார்பன்களைக் கொண்டிருக்கின்றன. (16, 18, 20, 22 கார்பன்கள் கொழுப்பு அமிலங்களில் அமைந்துள்ளன). இவை இரு கார்பன்கள் கொண்ட (அஸிடைல்) பகுதிகளாகச் சிதைவுறுகின்றன. எனவே கொழுப்பு அமிலங்களும் அஸிடைல் கோ ஏ என்ற பொருளை உண்டுபண்ணுகின்றன. அமினோ அமிலங்கள் சுற்றுவழியில் அஸிடைல் கோ ஏ-வை உண்டுபண்ணுகின்றன. அலனைன், பைருவிக் அமிலம் அமினோ பகுதியுடன் சேர்வதால் தோன்றும் அமினோ அமிலமாகும். எனவே அலனைன், அமினோ பகுதியின் நீக்கத்தினால் பைருவிக் அமிலமாகிறது. பைருவிக் அமிலம் பின்னர், மேற்கண்ட ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியில் அஸிடைல் கோ ஏ-வை உண்டுபண்ணுகிறது.

எனவே அஸிடைல் கோஏ என்ற பொருள் கார்போஹைடிரேட்டுகள், கொழுப்பு அமிலங்கள், அமினோ அமிலங்கள் முதலிய பொருள்களின் சிதைமாற்றங்களிலெல்லாம் தோன்றுகிறது.

கொழுப்பு அமிலங்களின் வளர் மாற்றங்களிலும் அஸிடைல் கோ ஏ முக்கிய பங்கேற்கிறது.

எனவே அஸிடைல் கோஏ வளர்சிதை மாற்றங்களின் முக்கிய இடைப்பொருளாக அமைகின்றது. இங்கு அஸிடைல் பகுதியிலுள்ள இரு கார்பன்களும் கோ என்ஸைம் ஏ-யுடன் தயால் எஸ்டர் இணைப்பில் (Thiol ester bond) காணப்படுகின்றன. இது மிகுந்த சக்திவாய்ந்த இணைப்பு எனப்படுகிறது. இந்த இணைப்பிலிருந்து விடுபடும் அஸிடைல் பகுதி அதனை ஏற்கத்தக்க ஏற்பான்களுடன் எளிதில் இணைகிறது.

கீழ்வரும் சில கிரியைகளை நோக்குக :

(1) அஸிடைல் கோ ஏ + ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமிலம் ——→ சிட்ரிக் அமிலம் + கோ ஏ

(2) அஸிடைல் கோ ஏ + கோலைன் ———→ அஸிடைல் கோலைன் + கோ ஏ

இத்தகைய இரு கார்பன்—நொதிக் கூட்டு பல வளர்சிதை மாற்றங்களில் வருவதைப் பின்வரும் அத்தியாயங்களில் காண் போம்.

9. சுவாசித்தல்

உயிர்ச்சக்தி (Bio energetics)

ஆக்கத்திற்குத் துணை சக்தி என்கிறோம்; அணுசக்தி, அனல் சக்தி, மின்சக்தி எனப் பலவாறான சக்தி வகைகளை அறிவோம்.

அணுக்களின்மூலம் அணுசக்தியைப் பெறுகிறோம். இந்தச் சக்தியை இயந்திரங்களுக்கு மாற்றிப் பல்வேறு தொழில்களைச் செய்கிறோம். நீர்வீழ்ச்சியினால் கிடைக்கும் சக்தியை மின்சக்தியாக்குகின்றோம். இங்ஙனம் நிகழும் செயல்களிலெல்லாம் சக்தி வெளிப்படுகிறது. ஒரு நிலையிலிருந்து மற்றொரு நிலைக்குச் சக்தியை மாற்ற முடியுமே தவிர, அதனை ஆக்கவோ, அழிக்கவோ முடியாது; அணுச் சக்தியிலிருந்து இயந்திர சக்தியைப் பெறலாம்; நீரின் சக்தியை மின்சக்தியாக மாற்றலாம்.

சக்தி வெளிப்படும் நிலையிலெல்லாம் அது வீணாகிவிடாமல், அதைப் பயனுள்ள வேறு உருவத்திற்கு மாற்றுவதே, உயிரிகள் (Organisms) அனைத்திலும் நிகழும் நிகழ்ச்சியாகும். அதுவே உயிர் நிலைத்தலின் அடிப்படைத் தத்துவமாகிறது.

மக்னீஸிய (Magnesium) நாடா காற்றில் எரியும்போது ஒளி உண்டாகிறது; இது ஒளிச் சக்தியாகும். நிலக்கரி எரியும்போது அனல் உண்டாகிறது; இது அனல் சக்தியாகும். மேற்கண்ட பொருள்கள் எரியும்போது சக்தி வெளிப்படுவதைக் கண்டோம். உயிரிகளில் நிகழும் சுவாசித்தலும் பொருள்கள் எரிதலுக்கு ஒப்பாகும். ஆனால் இவ்விரண்டிலும் ஒரு வேற்றுமை காணப்படுகிறது. எரியும்போது, மக்னீஸிய நாடா, நிலக்கரி முதலியவற்றின் சக்தி முழுவதும் ஒளி, அனலாக வெளிப்பட்டு வீணாகிறது; தாவரங்களின் 'சுவாசித்தல்' என்னும் நிகழ்ச்சியில் எரியும் பொருள்களின் சக்தி அனைத்தும் வீணாவதில்லை. தரசம். சர்க்கரை, கொழுப்பு' புரதம் போன்ற உணவுச் சத்துக்கள் 'சுவாசித்தலில்' எரிகின்றன.

அச்சமயம் வெளிப்படும் சக்தி, ATP போன்ற அங்ககக் கூட்டுப் பொருள்களின் இணைப்பு சக்தியாக (Bond Energy) மாற்றப்பட்டு, அப் பொருள்களின் அமைப்பில் சேமித்து வைக்கப்படுகின்றது. இதனல் வெளிப்படும் சக்தியின் பெரும் பகுதி சேமிக்கப்படுகிறது.

குளுகோஸ் சர்க்கரையைக் காற்றில் எரித்தால் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும் நீரும் கிடைக்கின்றன. ஒரு டன் குளுகோஸை ஒரு பரிசோதனைக்குப் பயன்படுத்துவதாகக் கொள்வோம். சிறிது சிறிதாக எரித்தாலும் அல்லது அதிகமாக எரித்தாலும் முடிவுப் பொருள்களாகக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும் நீரும் தான் கிடைக்கின்றன. ஆனல் ஒரு தாவரத்தினுள் நடைபெறும் எரித்தலில் பல்வேறு இனப் பொருள்கள் கிடைக்கின்றன. ஏனெனில், அந் நிகழ்ச்சிகளில் நொதிகள் வினைபுரிகின்றன. அத்தகைய உயிர் வேதியியல் மாற்றங்களுக்குத் (Biochemical changes) தேவையான சக்தியும், அந்த மாற்றங்களில் வெளிவரும் சக்தியும் அதிகமாக வெப்பம், ஒளி, ஓசை என வீணுகிவிடாமல், அவை (நொதிகள்) காக்கின்றன. வெளிவரும் சக்தியைப் பயன்படும் ATP உருவத்திற்கு மாற்றி, தாவர உயிரின் வளர்சிதை மாற்றத்திற்கும் இயக்கத்திற்கும் உடல் அமைப்பிற்கும் உதவ வழிகோலுகின்றன.

இத்தகைய பயனளிக்கும் சக்தி கிடைக்கும்வரை ஒரு தாவரம் உயிர் வாழ்கிறது ; அதன் சீரமைப்புக் கெடுவதில்லை.

பயனளிக்கும் சக்தியில்லையேல் உடல் இயக்கம் இல்லை. உயிர் இல்லை. உயிரால் பெறுவது பயனளிக்கும் சக்தி. சக்தியால் இயங்குவதும், சீரிய அமைப்பு அழிந்துவிடாமல் நிலைப்பதும் உயிராகும்.

பொருள்களை அவைகள் பெற்றுள்ள சக்தியின் திறத்தினுல் நிலைத்தவை என்றும், மிகவும் நிலையற்றவை என்றும் வகைப்படுத்தலாம். ஒருசில கிரியை புரியும் பொருள்கள் (Reactants) கிரியையின் முடிவில் உண்டாக்கும் பொருள்களைவிட (End products) சக்தி வாய்ந்தவையாக இருப்பின், கிரியை நிகழும்போது இந்த மிகுதியான சக்தி வெளிப்படுகிறது. ஆனல் முடிவுப் பொருள்கள், கிரியை புரியும் பொருள்களைவிட சக்தி வாய்ந்தவையாயிருப்பின் கிரியை நிகழ்வதற்கு சக்தி தேவைப்படுகிறது (Endergonic reaction). முன் கண்ட கிரியையில் சக்தி வெளிப்பட்டது (Exergonic reaction). ($\triangle$F = Free energy of products—Free energy of reactants) எனவே $\triangle$F (அல்லது) ஒரு கிரியையின் சுயேச்சை சக்தி மாற்றம் = கிரியையின் முடிவுப் பொருள்களின் சக்தி—கிரியை புரியும் பொருள்களின் சக்தி வெளியிலிருந்து சக்தியைப் பெறுமல் ஒரு கிரியை

நிகழ்வதற்கு, அதனுடைய சுயேச்சை சக்தி மாற்றம் (டெல்டா ஃப் ($\triangle F$)) எதிர்மறை எண்ணிக்கையாக ($-\triangle F$) இருத்தல் வேண்டும்.

ஒரு கிரியையின் சுயேச்சை சக்தி மாற்றம் ($+\triangle F$) நேர்மறை எண்ணிக்கையாக இருப்பின், அது நிகழ சக்தி தேவைப்படுகிறது என்பது தெளிவாகும்.

சக்தி அதிகமான நிலையிலிருந்து சக்தி குறைந்த பொருள்களே எளிதில் உண்டாகின்றன. இங்ஙனம், ஒரு பொருளில் நிகழும் மாற்றங்களிலெல்லாம் சக்தி வெளிப்படுமாயின், இறுதியில் அந்தப் பொருள் தன் சக்தியையெல்லாம் இழந்து, உருக்குலைந்துவிடும். (Tends to lose its State of Organisation).

அதுவே அனல்மின் இயங்குவியலின் இரண்டாம் விதியாகும் (The second law of Thermodynoamics). இது பௌதீக உலகத் திற்கென ஏற்படுத்தப்பட்டதாகும். தனித்து விடப்பட்ட அமைப் பொன்று, தானே தன் சீரிய அமைப்பை அதிகமாக இழந்து விடு கின்ற நிலைகளை நோக்கிச் செல்கின்றது என்பதே இதன் கருத் தாகும் (Systems in isolation Spontaneously tend toward states of greater disorganization).

ஆனல் சுயேச்சை சக்தியை இத்தகைய அமைப்பிற்கு அளித் தால், அது மேற்கண்ட விதியை மீறுகின்றது. இதுதான் உயிரினங் களில் நிகழ்கின்றது.

ஒவ்வொரு தாவர உயிரில் நிகழும் வேதியியல் மாற்றங்களில், வெளிப்படும் **சக்**தி சேமிக்கப்படுகிறது. பின்னர் அவைகளின் வளர்மாற்றங்களில் சேமிக்கப்பட்ட சக்தி உபயோகப்படுகிறது. இங்ஙனம் சக்தியை வெளிப்படுத்தும் நிகழ்ச்சிகளின்போதே, சக்தியைச் சேமிக்கும் திறன்படைத்த பகுதிகள் தாவர செல்களில் காணப்படுகின்றன. இவைகளை மைட்டோகோண்ட்ரியாக்கள் என்றழைக்கின்றனர்.

தாவரங்களில் சக்தி எப்போது வெளி வருகின்றது? உணவுப் பொருள்கள் சிதைவுறும்போது சக்தி வெளிப்படுகின்றது. தரசம், சர்க்கரை, கொழுப்பு புரதம் முதலானவை உணவு எனப்படுகின் றன. இப் பொருள்களை அங்ககக் கூட்டுப் பொருள்கள் என்று அறிவோம், இவை கார்பன், ஹைடிரஜன், ஆக்ஸிஜன் என்ற மூன்று மூலகங்களை அடிப்படையாகக் கொண்டவை. எனவே இவை காற்றில் (ஆக்ஸிஜனில்) எரியும்போது, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும், நீரும் கிடைக்கின்றன. முன்கண்ட உணவுப் பொருள்களிலுள்ள சக்தியைவிட முடிவுப் பொருள்களில் காணப்படும் சக்தி மிகவும்

குறைந்தது. அவ்வாறெனின், இந்த உணவுப் பொருள்களில் முன்பிருந்த சக்தி எங்கே? அந்தச் சக்தி, வெப்பம், ஒளி, ஓசையாக வெளிப்பட்டு, வீணுகி விட்டதா? இல்லே. அதுதான் உருமாறி, ரசாயன இணைப்புச் சக்தியாக, ATP என்னும் பொருளை உற்பத்திச் செய்வதை முன்னரே கண்டோம். இந்தச் சக்தி மாற்றத்தின் விளைகள், மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களில் நிகழ்கின்றன.

காற்றின் தேவை

அநேக தாவரங்களில் ஆக்ஸிஜனை உட்கொண்டு கார்பன்-டை ஆக்ஸைடை வெளிவிடும் நிகழ்ச்சியே நடைபெறுகின்றது. ஆனுல் ஒரு சில தாவர உயிர்கள் ஆக்ஸிஜனை உட்கொள்வதில்லே. அவையும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை வெளிவிடுகின்றன. எனவே ஆக்ஸிஜனை உட்கொள்ளும் தேவையின்றியே சில தாவரங்கள் இயங்குகின்றன. இத்தகைய தாவரங்களைக் காற்றின்றிவாழ் உயிரினம் என்றழைப்பர். ஆக்ஸிஜனை உட்கொள்ளும் தாவரங்களைக் காற்றுவாழ் உயிரினம் என்றும் அத்தகைய 'சுவாசித்தலே' காற்றுள்ள சுவாசம் என்றும் கூறுவர்.

காற்றுவாழ் உயிரினங்களிலும், கட்டாயக் காற்று ஜீவிகள், சந்தர்ப்பக் காற்று ஜீவிகள் என்று இருதரப்பட்ட உயிரினங்கள் காணப்படுகின்றன.

ஆக்ஸிஜன் இணக்கத்திஞல் உணவுப் பொருள்கள் முற்றிலும் எரிக்கப்படுகின்றன. அங்ககப் பொருள்கள் இங்ஙனம் எரிக்கப்பட்டு, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும், நீரும் கிடைக்கின்றன. ஆக்ஸிஜன் இல்லாவிடில், உணவுப்பொருள்கள் அரைகுறையாகச் சிதைக்கப்படுகின்றன. இதனுல் உணவுப் பொருள் வீணுவதைத் தவிர, தாவரத்திற்குப் பயனுள்ள மாற்றங்கள் ஏற்படுவதில்லே. ஆக்ஸிஜன் இத்தகைய நட்டத்தைத் தவிர்க்கிறது.

காற்றின்றிவாழ் உயிரிகள் பரிணமித்து காற்றுவாழ் உயிர்கள் தோன்றியிருக்கலாம் என்று கருது வார் உளர். முதன் முதலில் உயிரிகள் தோன்றியபோது வானவெளி மண்டலத்தில் ஆக்ஸிஜன் இல்லாமலிருந்திருக்கலாம். அப்போது தோன்றிய உயிரிகள், ஆக்ஸிஜனின் தேவையில்லாமலே தம் வாழ்க்கையை நடத்தின. பின்னர் தோன்றிய தாவரங்கள் படிப்படியாகப் பரிணமித்த ஒளிச்சேர்க்கை என்னும் கிரியையில், ஆக்ஸிஜனை வெளியிட்டு, வானவெளியைத் தூய்மையாக்கியிருக்கலாம். அத்தகைய சூழ்நிலேயில் தோன்றிய தாவரங்கள் காற்றுவாழ் உயிரினங்களாயிருக்க வேண்டும் என்பதே அன்னுரின் கருத்தாகும்.

ஆக்ஸிஜன் மிகவும் சக்தி வாய்ந்த ஆக்ஸீகரணி என்று அறிவோம். காற்றுவாழ் உயிரினங்களில் நிகழும் சிதைவு மாற்றங்கள், இதனை முக்கிய ஏற்பானாக வைத்தே நிகழ்கின்றன.

மைட்டோகோண்ட்ரியாக்கள் (Mitochondria)

உயிருள்ள ஒவ்வொரு செல்லிலும் மைட்டோகோண்ட்ரியாக்கள் காணப்படுகின்றன. அவற்றின் உருவம் கோளமாகவோ, நீண்டோ, குழல் போன்றோ, அல்லது கிளைத்தோ இருக்கும். ஆனால் மேற்கண்ட உருவ நிலைகள் ஒரு சில நிமிடங்களில் மாறலாம். வெட்டிய செல்லில் இங்ஙனம் மாறும் உருவநிலையைக் காணமுடியாது.

மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களின் எண்ணிக்கை செல்களின் வினைக்கேற்ப வேறுபடுகின்றது. காற்றுள்ள சுவாசம் புரியும் செல்களில் மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாகிறது. அவை 20-லிருந்து 5×10^5 எண்ணிக்கை வரை காணப்படுகின்றன.

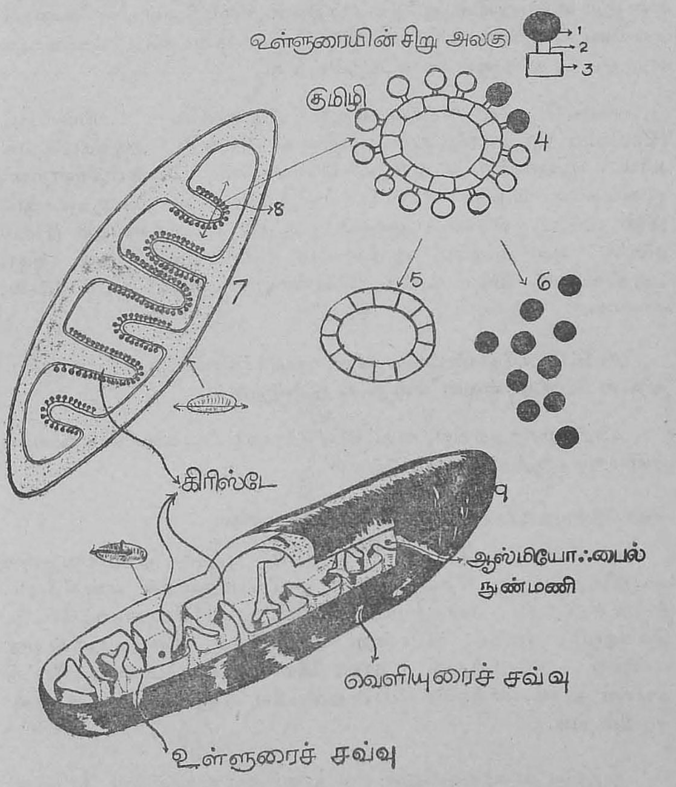
ஒரு மைட்டோகோண்ட்ரியா சுமார், 3 மைக்ரான்கள் (3μ) நீளமும், ஒரு மைக்ரான் (1μ) குறுக்களவும் கொண்டிருக்கலாம். இவற்றைச்சுற்றி இரு உறைகள் உள; அவை வெளியுறை, உள்ளுறை எனப்படுகின்றன. உள்ளுறை, கிரிஸ்டே (Cristae) என்ற மடிப்புகளுடன் காணப்படும். (படம் 9.1) வெளியுறைக்கும் உள்ளுறைக்கும் இடையிலும், உள்ளுறையின் உட்புறத்திலும் இடைவெளிகள் காணப்படுகின்றன. இதில் காணப்படுவது மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் மேட்ரிக்ஸ் (Mitochondrial matrix) என்பர்.

ஆஸ்மியோஃபைல் நுண்மணிகள் (Osmiophilic droplets)

மேட்ரிக்ஸ் பகுதியில் ஓரிரண்டு ஆஸ்மியோஃபைல் நுண்மணிகள் காணப்படுகின்றன. மைட்டோகோண்ட்ரியாக்கள், ஆக்ஸிகரண ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்தின்போது கால்ஸியம் ஃபாஸ்ஃபேட்டைத் திரட்டலாம் என்று கருதுகின்றனர். ஆஸ்மியோஃபைல் நுண்மணிகளில் இவை சேமிக்கப்படுகின்றன என்கின்றனர்.

மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் உறைச்சவ்வு

தாவரங்கள் சுவாசித்தலுக்கென அமைந்த நொதிகளில் பெரும்பாலானவை மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் உறையிலேயே அமைந்துள்ளன. உறைச்சவ்வின் புரதத்தில் 25 சதம் இந்த நொதிகளாகும். மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் உள்ளுறையில் கிரிஸ்டே



படம் 9.1. மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் பல அம்சங்கள்

1. உள்ளுறையின் சிறு அலகான அமைப்பின் தலைப்பகுதி
2. சிறு அலகின் காம்புப் பகுதி
3 சிறு அலகின் அடிப்பகுதி
4. உள்ளுறைச் சவ்வினுல் ஆகிய குமிழிகள் (Inner membrane vesicles)
5. தலைப் பகுதிகளற்ற குமிழி : ஆக்ஸீகரணப் பகுதி எனப்படுகிறது
6. தலைப் பகுதிகள் தனியாகக் காணப்படுதல் ; இவை ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்திற்குத் தேவைப்படுகின்றன.
7, மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம்
8. உள்ளுறையின் கிரிஸ்டே பகுதிகளில் சிறு அலகுகளின் வரிசை
9. மைட்டோகோண்ட்ரியத்தின் உறைகளில் அமைப்பு, உள்ளுறையில் மடிப்புகள் காணப்படுதல்

என்னும் மடிப்புகளில் அநேக நொதிகள் அமைந்துள்ளன. உறைச் சவ்வுகளில் அமைந்த புரதங்களைத் தவிர, கரைத்தெடுக்கக்கூடிய நொதிப் புரதங்களும் காணப்படுகின்றன.

மைட்டோகோண்ட்ரியாவிற்கு ஃபாஸ்ஃபோ டங்ஸ்டேட் (Phospho tungstate) சாயமேற்றினால், கிரிஸ்டே பகுதிகளிலெல்லாம் நுண்ணிய சிறுசிறு கோளங்கள் தென்படுகின்றன. இவைகளே இந்தக் கிரிஸ்டே பகுதியின் சிறு அலகுகளாகும். (Sub units) ஒவ்வொரு அலகும், ஒரு தலைப் பகுதியையும் (Head piece), ஒரு காம்புப் பகுதியையும் (Stalk piece) ஒரு அடிப் பகுதியையும் (Base piece) கொண்டிருப்பதைக் (படம் 9.1-ல்) காண்க.

மைட்டோகோண்ட்ரியாக்கள், வளர்ச்சியடைந்து பகுப்படைவதால் பெருகுகின்றன என்று கூறுகின்றனர்.

சக்தி மாற்றத்தில் மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களின் பங்கைப் பின்வரும் பகுதிகளில் காண்போம்.

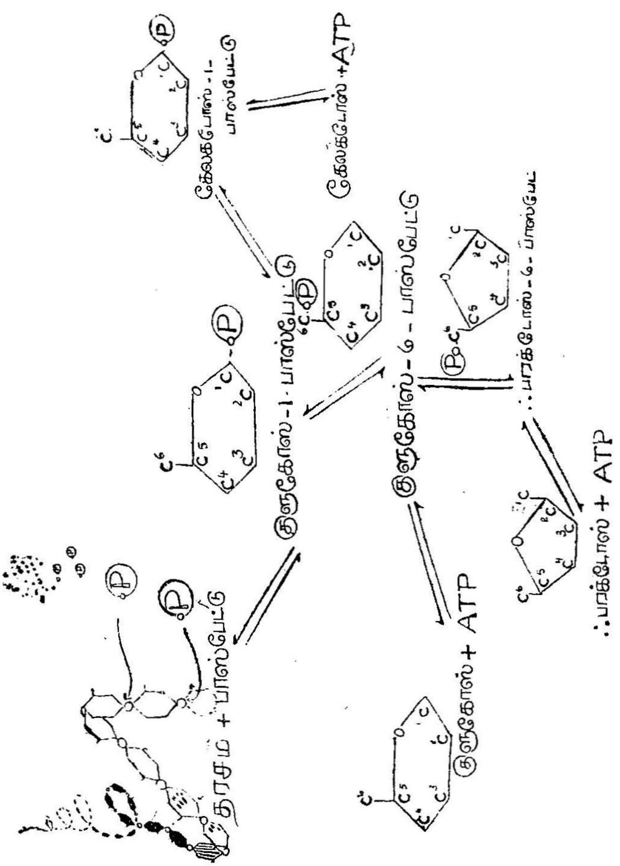
சுவாசித்தலுக்குத் தேவையான தளப்பொருள்கள்

கார்போஹைடிரேட்டு, கொழுப்பு, புரதம் முதலியவற்றை சுவாசித்தலுக்குத் தேவையான தளப்பொருள்கள் என்கிறோம். சுவாசித்தல் என்றழைப்பதைவிட, கார்போஹைடிரேட்டு, கொழுப்பு, புரதம், போன்ற பொருள்கள் சிதைவுறுகின்றன என்பது பொருந்தும். தாவரங்களில் கார்போஹைடிரேட்டுகளான தரசம், சர்க்கரை போன்றவையே பெரும்பாலும் சிதைக்கப்படுகின்றன.

ஒரு சில தாவரங்களிலும், சில தாவர வித்துக்களிலும் சேமிக்கப்பட்ட கொழுப்புச் சத்து சிதைக்கப்படுகின்றது. புரதங்களைச் சிதைமாற்றங்களுக்கென உபயோகித்தல் சாதாரணமாக நிகழ்வதில்லை.

தரசம், ஸுக்ரோஸ், ஃப்ரக்டோஸ், மேன்னோஸ், கேலக்டோஸ் போன்ற கார்போஹைடிரேட்டுகள் அனைத்தும், முதற்கண், குளுகோஸ் சர்க்கரையாக மாற்றப்படுகின்றன. அதன் பின்னர்தான் சிதைமாற்றங்கள் நிகழ்கின்றன.

விலங்குகளில் க்ளைகோஜன் என்ற கார்போஹைடிரேட்டு சிதைமாற்றங்களின்போது குளுகோஸாக மாற்றப்படுகிறது. ஈஸ்ட் (Yeast), பாக்டீரியா (Bacteria) போன்ற உயிரிகளும் குளுகோஸைச் சிதைக்கின்றன.



படம் 9.2 கார்போஹைதரேட்டுகளிடையே நிகழும் மாற்றங்கள்.

ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ்
1. தரசம் + ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் ⇄ குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட்டு
ஹெக்ஸோகைனேஸ்

2 கேலக்டோஸ் + ATP ⇄ கேலக்டோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட்டு + ADP

ஐஸோமிரேஸ்
3. கேலக்டோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட்டு ⇄ குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட்டு

ஹெக்ஸோகைனேஸ்
4. குளுகோஸ் + ATP ⇄ குளுகோஸ் 6 ஃபாஸ்ஃபேட் ADP

ஃபாஸ்ஃபோகுளுகோம்யூடேஸ்
5. குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்பேட்டு ⇄ குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்

ஹெக்ஸோகைனேஸ்
0. ஃப்ரக்டோஸ் + ATP ⇄ ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்

ஐஸோமிரேஸ்
7. ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட் ⇄ குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்

மேற்கண்ட உயிரிகள் அனைத்தும், உருவத்தாலும், அமைப்பாலும், முற்றிலும் வேறுபட்டபோதும், அவைகளில் நிகழும் சிதை மாற்றங்கள் பெரும்பாலும் ஒத்திருக்கின்றன. இது குறிப்பிடத் தக்கதாகும்.

குளுகோஸ் சர்க்கரை, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாகவும், நீராகவும் சிதைக்கப்படுவதற்குள், இடையே பல்வேறு வேதியியல் மாற்றங்கள் (Chemical changes) நிகழ்கின்றன. அவற்றை இரண்டு பகுதிகளாகக் காண்போம்.

முதல் பகுதியில், குளுகோஸ் படிப்படியாக மாற்றமடைந்து பைருவிக் அமிலமாகிறது. இரண்டாம் பகுதியில் இந்தப் பைருவிக் அமிலம் ஆக்ஸீகரணங்களால், இறுதியில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடையும், நீரையும் உற்பத்தி செய்கிறது.

இரண்டாம் பகுதியில் நிகழும் மாற்றங்கள் சுழல்போல் மீண்டும் மீண்டும், பைருவிக் அமிலங்களை ஆக்ஸீகரணிக்கும்படி அமைந்துள்ளன. இரண்டாம் பகுதியில் நிகழும் இந்தச் சுழல் மாற்றங்கள், மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களில் நிகழ்கின்றன. மேற்கண்ட சுழல் நிகழ்ச்சிகளை சிட்ரிக் அமில சுழற்சி என்பர். சிதை மாற்றங்களின் முதல் பகுதியை க்ளைகாலிஸிஸ் என்பர். முதன் முதல் தசைகளில் நிகழ்த்திய ஆய்வுகளில் க்ளைகோஜன் (Glyco-

gen) பைருவிக் அமிலமாகும் முதல் பகுதி வேதியியல் மாற்றங்களைக் கண்டறிந்தனர். எனவே இதனை க்ளைகோஜன் சிதைவு என்னும் பொருள்பட, க்ளைகோலிஸிஸ் (Glycolysis) என்றழைத்தனர். குளுகோஸ் சிதைவை குளுகோலிஸிஸ் (Glucolysis) என்றும் அழைக்கலாம்.

ஈஸ்ட் (Yeast) செல்களும், சில சமயங்களில் காற்றில்லா சுவாசம் புரியும் தாவர செல்களும், முதற் பகுதியான க்ளைகோலிஸிஸின்போது குளுகோஸை, பைருவிக் அமிலமாகச் சிதைத்துப் பின்னர் அதிலிருந்து ஒரு கார்பனைக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாக அகற்றி, எஞ்சியுள்ள பகுதியைக் குறைக்கின்றன. இதனால் ஈ,நில் (Ethyl) ஆல்கஹால் (Alcohol) உண்டாகிறது.

காற்றிலா சுவாச நிகழ்ச்சி ஒன்றில் ஓர் அங்ககப் பொருள் முடிவான ஏற்பானாகப் பயன்படுமானால் அது நொதித்தல் எனப் படும். நொதித்தலில் (in Fermentation) குளுகோஸின் சிதைமாற்றங்கள் அரைகுறையாக நிகழ்கிறது எனலாம்.

காற்றில்லா சிதைமாற்றங்கள் தசைகளில் நிகழும்போது க்ளைகோஜன், பைருவிக் அமிலமாகிப் பின் குறைத்தல் அடைந்து லாக்டிக் அமிலம் (Lactic acid) உண்டாகின்றது. இதனை லாக்டிக் அமில நொதித்தல் என்பர்.

ஈஸ்ட்டு செல்லின் சாரம் (Extract) சர்க்கரைக் கரைசலை நொதிக்கச் செய்கின்றது; இதனால் ஆல்கஹாலும், கார்பன் டை-ஆக்ஸைடும் உண்டாகின்றன என்று ஹார்டனும், யங்கும் (Harden & Young) கண்டபோதே, மேயர்ஹாப் (Meyerhof) என்பவர், காற்றில்லாத் தசை சுருங்கும்போதும் கார்போஹைடிரேட்டான க்ளைகோஜன், சிதைவுற்றுத் தோன்றிய பைருவிக் அமிலம், லாக்டிக் அமிலமாகக் குறைத்தல் அடைகிறது என்றும், பின்னர் காற்றின் உதவியால் லாக்டிக் அமிலம் உண்டாதல் தவிர்க்கப்படுகிறது என்றும் கண்டார். ஈஸ்ட் நொதித்தலில் நிகழ்த்திய சிதை மாற்றங்கள், க்ளைகோஜனின் சிதை மாற்றங்களோடு ஒத்திருத்தலைக் கண்டனர்.

கஸ்டேவ் எம்ப்டன், ஆட்டோ மேயர் ஹாப், ஜேகப் பார்னஸ் (Gustav Embden, OHo Meyerhof & Jacob Parnas) என்ற மூவரின் அயரா உழைப்பினால், கார்போஹைடிரேட்டுகளின் சிதை மாற்றங்களை இன்று நாம் அறிகிறோம். எனவே க்ளைகோலிஸிஸ் என்ற வேதியியல் மாற்றங்களுக்கு 'எம்ப்டன்-மேயர்ஹாப்-பார்னஸ்' பாதை (Embden-Meyerhof-Parnas Pathway or EMP Pathway) என்ற மறு பெயரிட்டனர்.

ஈஸ்ட், பாக்டீரியா போன்றவை நிகழ்த்தும் சிதை மாற்றங் களைக் காற்றில்லா வாழ்க்கை (Life without Oxygen)என்று பாஸ்டர் குறிப்பிட்டார்.

'என்சைம்' (Enzyme) என்ற நொதிகளின் ஆங்கிலப் பெயர் சைமேஸ் (Zymase) என்ற பெயரிலிருந்து தோன்றியது. சைமேஸ், ஈஸ்ட்டு செல்லின் நொதிகளைக் குறிக்கும் பொதுப் பெயர். எனவே நொதிகள் எனப்படுபவை பல வேதியியல் மாற் றங்களில் ஊக்கிகளாவதை அறிந்தனர்.

காற்றில் வாழ் தாவரங்களின் க்ளைகாலிஸிஸ் சிதைமாற்றம்

க்ளைகாலிஸிஸின் முதற் படியில் பலதரப்பட்ட கார்போ ஹைடிரேட்டுகளான தரசம், ஸுக்ரோஸ் (Sucrose) கேலக்டோஸ் (Galactose), மேன்னோஸ் (Mannose) போன்றவை முதலில் குளுகோஸாக மாற்றப்படவேண்டும் என முன்னரே கண்டோம். இவைகளுக்கிடையே நிகழும் இந்த மாற்றங்களில் குளுகோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட் உண்டாதலைப் படம் 9·2-ல் காண்க. தரசம், ஃபாஸ் பாரிலேஸ் (Phosphorylase) என்ற நொதியால் பல குளுகோஸ்-1- பாஸ்பேட்டு மூலக் கூறுகளாக சிதைக்கப்படுகின்றது. தரசம், பல ஆயிரம் குளுகோஸ் மூலக் கூறுகள் ஒன்றோடொன்று ஆக்ஸிஜன் வழியாக இணைந்த அமைப்பாகும். இந்த ஆக்ஸிஜன் பாலங்கள் ஒரு குளுகோஸ் மூலக் கூறிலுள்ள முதல் கார்பனை மற்றொரு குளுகோஸிலுள்ள 4-வது கார்பனோடு (C1-C4 bond) இணைக் கின்றன. தரசம் சிதையும்போது, இந்தப் பாலங்கள் உடைந்து அந்தப் பகுதிகளில் ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறு வந்தமை கின்றது. இதனால் கார்பன் 1-ல் ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட் இணைகிறது. இதனை குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட் என்று அழைக்கின்றனர். குளுகோஸ் மோனோஃபாஸ்ஃபேட்டு என்றும் இதனைக் குறிப் பிடலாம்.

கிரியை 1

எனவே தரசம் சிதைக்கப்பட்டு, குளுகோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டு கள் உண்டாதலை முதல் கிரியையாகக் கொள்ளலாம்.

$$\text{தரசம்} + \text{ஃபாஸ்ஃபேட்டு} \xrightarrow{\text{ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ்}} \text{குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட்டுக்கள்}$$

குளுகோஸ் நேர்முகமாக, க்ளைகாலிஸிஸ் நிகழ்ச்சியில் சிதை வுறுகின்றதெனக் கொள்வோம். அச் சமயத்திலும் குளுகோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டு உண்டாகிறது. ஆனால் இதற்கு ATP தேவைப்

படுகிறது. ATP-யின் மூன்ருவது ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதி நீர் இணைத்தலில் (Hydrolysis) வெளிப்பட்டு, குளுகோஸ் சர்க்கரையுடன் இணைகிறது. இதனல் குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டு உண்டாகிறது. ATP, ADP-யாகின்றது. குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ் ஃபேட்டு மூலக்கூறில், 6ஆம் கார்பனேடு இணைந்த ஃபாஸ் ஃபேட்டு. 1ஆம் கார்பனுக்கு மாற்றப்பட்டு குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ் ஃபேட்டை உண்டுபண்ணலாம்.

குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டு உண்டாகும் கிரியையில் ஹெக் ஸோகைனேஸ் (Hexokinase) என்ற நொதி ஊக்கியாகின்றது.

ஹெக்ஸோகைனேஸ்

குளுகோஸ் + ATP ⇄ குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்

கிரியை 2

தரசத்திலிருந்து தோன்றிய குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட்டு ஃபாஸ்ஃபோ குளுகோ ம்யூடேஸ் (Phospho gluco mutase) என்ற நொதியால், குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டாகிறது.

ஃபாஸ்ஃபோ குளுகோ
ம்யூடேஸ்

குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட்டு ⇄ குளுகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்

மேற்கண்ட நிகழ்ச்சியில் குளுகோஸ்-1-6-டை ஃபாஸ்ஃபேட் என்ற பொருள் பங்குகொள்வதாகக் கூறப்படுகின்றது. இதில் கார்பன் 1-ல் இணைந்த ஃபாஸ்ஃபேட்டை குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ் ஃபேட்டினுடைய கார்பன் 6-க்கு மாற்றுகின்றது. இதனல் குளுகோஸ்-1-6-டைஃபாஸ்ஃபேட் குளுகோஸ்-6 ஃபாஸ்ஃபேட்டாகிறது என்பர். இந்தக் கிரியையில் மறுபடியும் குளுகோஸ் 1,6-டை ஃபாஸ்ஃபேட் தோன்றுவதைக் காண்க. இங்கு குளுகோஸ்-1-6-டை ஃபாஸ்ஃபேட்டு இணைகாரணியாகப் பணிபுரிகின்றது.

குளுகோஸ்-1-ஃபாஸ்ஃபேட் + குளுகோஸ்-1-6-டைஃபாஸ் ஃபேட்டு ⇄

குளுகோஸ்-6 ஃபாஸ்ஃபேட்டு + குளுகோஸ்-1-6-டைஃபாஸ் ஃபேட்டு

கிரியை 3

இந்தக் கிரியையில் பங்குகொள்ளும் நொதி, ஹெக்ஸோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட் ஐஸோமிரேஸ் (Hexose phosphate Isomerase) என்றழைக்கப்படும்.

இந்த நொதியின் உதவியால் ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டு (Fructose-6-Phophate) என்ற பொருள் உண்டாகிறது.

ஹெக்ஸோஸ்
ஃபாஸ்ஃபேட்
ஐஸோமிரேஸ்
குளூகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டு ⇄ ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டு

கிரியை 4

ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட் மேலும் ஃபாஸ்ஃபரிகரணம் அடைகிறது. இதற்கு ATP தேவைப்படுகிறது.

ஃபாஸ்போ ஃப்ரக்டோ
கைனேஸ்
ஃப்ரக்டோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்+ATP ⟶ ஃப்ரக்டோஸ்-1, 6-டைஃபாஸ்ஃபேட்டு+ADP

கிரியை 5

இனி ஃப்ரக்டோஸ் டைஃபாஸ்ஃபேட்டை, ஆல்டொலேஸ் (Aldolase) என்ற நொதி, இரண்டாகத் துண்டிக்கிறது. அதனால் மூன்று கார்பன்கள் உள்ள இரண்டு ட்ரயோஸ் (Triose) ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் உண்டாகின்றன.

ஆல்டொலேஸ்
ஃப்ரக்டோஸ்-1, 6-டைஃபாஸ்ஃபேட்டு ⟶ கிளிஸரால்டிஹைடு—ஃபாஸ்ஃபேட்டு+டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டு

ஆல்டொலேஸ் என்ற நொதி, முதன் முதலாக ஈஸ்ட்டு செல்லில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

கிரியை 6

மேற்கண்ட இரு ட்ரயோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டுக்களும் ஐஸோமர்கள் (Isomers). எனவே ஒன்று மற்றொன்றாக எளிதில் மாறுகின்றது. ஆனால் பெரும்பாலும் கிளிஸரால்டிஹைடு ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறே, டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டிலிருந்து தோன்றுகின்றது. இதற்கு ஃபாஸ்ஃபோட்ரயோஸ் ஐஸோமிரேஸ் என்ற நொதி ஊக்கியாகின்றது.

ஃபாஸ்ஃபோட்ரயோஸ் ஐஸோமிரேஸ்
கிளிஸரால்டிஹைடு ஃபாஸ்ஃபேட்டு ⇄ டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்டு

எனவே இரு கிளிஸரால் டிஹைடு மூலக் கூறுகள் முடிவில் கிடைப்பதாகக் கொள்வோம்.

கிரியை 7

க்ளைகாலிஸிஸ் என்ற நிகழ்ச்சியில், முதன் முறையாக இந்தக் கிரியையின்போதுதான் ஆக்ஸீகரணம் நடைபெறுகின்றது. இங்கு வினைபுரியும் நொதி, 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைட் டீஹைடிரோஜினேஸ் (3 Phosph glycerold dehyde dehydrogenase) எனப் படும். இதற்கு இணைநொதியாக NAD எனப்படும் நிகோடினமைட் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் (Nicotinamide adenine dinucleotide) வினைபுரிகிறது.

இந்தக் கிரியை மூன்று படிகளில் நிகழ்கின்றது. நொதிப் புரதத்தில் சல்பைட்ரைல் பகுதிகள் இருப்பது தெரிந்ததே. இத் தகைய சுயேச்சையான சல்பைட்ரல் பகுதியோடு (SH-group) தளப்பொருளான ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடு இணைகிறது. இது முதற் கண் நிகழ்வதாகும்.

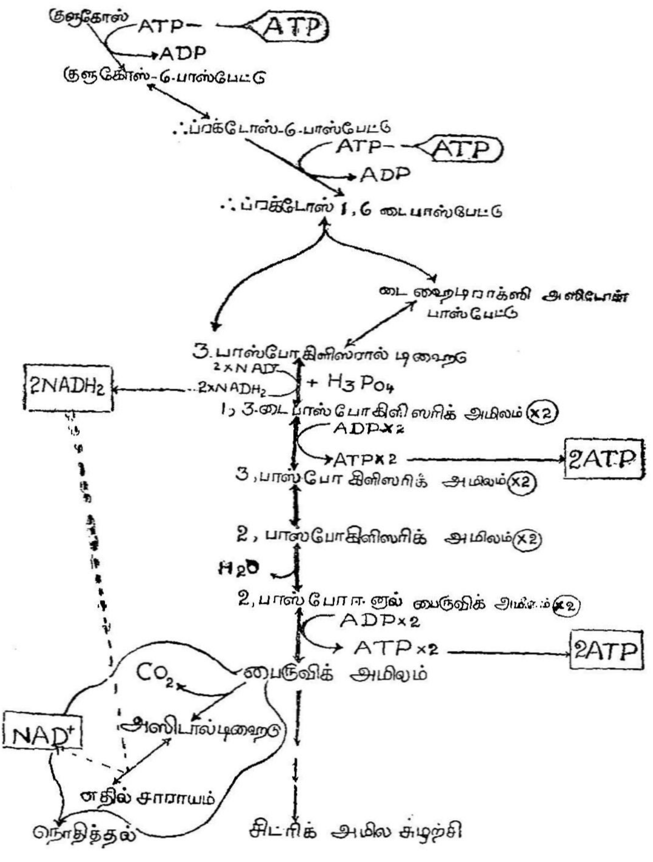
இந்தக் கலப்பிலிருந்து இரு ஹைடிரஜன்கள் நீக்கப்பட்டு, NAD-க்கு மாற்றப்படுகின்றன. இதனால் ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால் டிஹைடு ஆக்ஸீகரணிக்கப்பட்டு, NAD குறைத்தல் அடைகிறது. இங்ஙனம் ஆக்ஸீகரணிக்கப்பட்ட தளப்பொருள் நொதியைவிட்டு அகலுமுன் ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் அடைகிறது. இந்நிகழ்ச்சியில் ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறு வினைபுரிகிறது. இதனால் நொதி இணைந்த பகுதியில் ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறு வந்தமர்கிறது. இறுதியாக நிகழும் இந்த மாற்றத்தின் முடிவில் 1, 3-டை ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் (1, 3 Diphospho glyceric acid) உண்டாகிறது.

ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்
டிஹைட்

3-பாஸ்போ கிளிஸரால் டிஹைடு +
பாஸ்பேட்டு + NAD^{+} ⟶
⟵
டீ ஹைடிரோஜினேஸ்

1, 3-டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் + $NADH_2$

குறைக்கப்பட்ட இணைநொதி $NADH_2$ எவ்வாறு ஆக்ஸீகரணம் அடைகிறது என்பதைப் பின்னர் காண்போம்.



படம் 9.3. க்ளைகாலிஸிஸ்

ATP= அடினேசின் ட்ரை ஃபாஸ்ஃபேட்டு

ADP= அடினேசின் டைஃபாஸ்ஃபேட்டு

க்ளைகாலிஸிஸ் மாற்றங்களில் 2 ட்ரையோஸ் (Triose) சர்க்கரைகளான 3 ஃபாஸ்போ கிளிஸரால் டிஹைடும், டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்பேட்டும் தோன்றுகின்றன. 3 ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரால்டிஹைடு பல மாற்றங்களை அடைந்து பைருவிக் அமிலத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது. டைஹைடிராக்ஸி அஸிடோனும் 3 ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரால் டிஹைடாகமாறுவதால். அதிலிருந்து உண்டாகும் பொருள்களை (X2) இரண்டு மூலக்கூறுகளாகக் கருதவேண்டும். எனவே க்ளைகாலிஸிஸ் மாற்றங்களின் முடிவில் 2, பைருவிக் அமில மூலக்கூறுகள் தோன்றுகின்றன. நொதித்தலின்போது, ஈஸ்ட்டு செல்களின் நொதிகள் பைருவிக் அமிலத்தை, $NADH_2$வை உபயோகித்து எதில் சாராயத்தை உற்பத்தி செய்கின்றன. ஆனால் காற்றுவாழ் உயிரினங்களில் பைருவிக் அமிலம் ஆக்ஸிகரணிக்கப்பட்டு, அஸிடைல் கோஏ உருவில் சிட்ரிக் அமில சுழற்சி மாற்றங்களில் ஈடுபடுகின்றது.

கிரியை 8

படம் 9.3-ல் கண்டபடி இரு ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்டிஹைடு மூலக்கூறுகள் க்ளைகாலிஸிஸில் வினைபுரிவதாகக்கொண்டால், கிரியை 7-ல் இரு 1, 3-டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமில மூலக் கூறுகள் கிடைக்கின்றன.

கிரியை 8-ல், மேற்கண்ட சக்திவாய்ந்த இரு 1,3 டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமில மூலக்கூறுகள் தம்முடைய ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதிகளை ADP-க்கு மாற்றுகின்றன. இதனால் ADP, ATP-யாக மாற்றப் படுகின்றது. இதனைத் தளப்பொருள் நிகழ்த்தும், முதல் ஃபாஸ் ஃபரீகரண நிகழ்ச்சி என்பர். இந் நிகழ்ச்சியின் முடிவில் 1,3 டைஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரிக் அமிலம், 3 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமில மாகிறது.

ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரேட்
கைனேஸ்

1, 3-டைஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரிக் அமிலம் + ADP ⇄

ATP + 3-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்

இந்தக் கிரியையின் முக்கிய அம்சம், ATP உற்பத்தியாகும். ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரேட் கைனேஸ் என்ற நொதி இதற்கு ஊக்கி யாகின்றது.

குளுகோஸ், கிரியை 1-ல், ATP-யிலுள்ள ஃபாஸ்ஃபேட்டை ஏற்று குளுகோஸ் ஃபாஸ்ஃபேட்டாகிறது. எனவே, ஒரு ATP மூலக்கூறு, இங்கு உபயோகப்படுத்தப்படுகின்றது. கிரியை 4-லும் ஒரு ATP செலவழிக்கப்படுகின்றது.

கிரியை 8-ல் இரு ATP மூலக்கூறுகள் உற்பத்தியாவதால், மேற்கண்ட இரு ATP மூலக்கூறுகளின் நஷ்டத்தை இது ஈடு செய்கிறது எனலாம்.

கிரியை 9

முன் நிகழ்ந்த கிரியையில் உற்பத்தியான 3 ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸ ரிக் அமிலத்திலுள்ள ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறு, 3-ஆம் கார்பன் இணைப்பிலிருந்து அகன்று, 2-ஆம் கார்பனுடன் இணைகிறது. இது ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரிக் அமில மூலக்கூறில் நிகழும் ஒரு மாற்றமாகும். இதற்கு ஊக்கியாகும் நொதி, ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரோ ம்யூடேஸ், (Phospho glyceromutase) எனப்படும்.

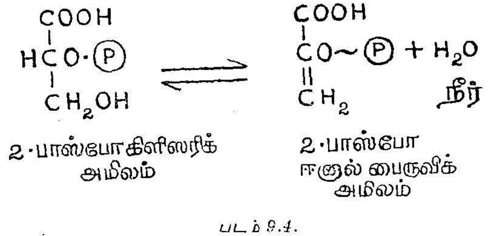
கிரியை 2-ல் குளூகோஸ்-1 ஃபாஸ்ஃபேட்டு, குளூகோஸ்-6-ஃபாஸ்ஃபேட்டாக மாறும் நிகழ்ச்சியில், குளூகோஸ் 1,6-டைஃபாஸ்ஃபேட்டு என்ற பொருள் இணைநொதியாக வினைபுரிவதைப்போல், இங்கும் 2, 3-டைஃபாஸ்ஃபோ, கிளிஸரிக் அமிலம் (2, 3-Diphospho glyceric acid) இணைநொதியாகின்றது.

3-ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரிக் அமிலம் + 2,3-டைஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரிக் அமிலம் $\underset{\longleftarrow}{\xrightarrow{\text{ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரோம்யூடேஸ்}}}$ 2,3-டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் + 2-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம்

கிரியை 10

2-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலத்திலிருந்து ஒரு மூலக்கூறு நீர் அகற்றப்படுகின்றது. இதனால் உயர்ந்த சக்தியுள்ள கூட்டுப் பொருள் ஒன்று உண்டாகிறது. அது ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைருவிக் அமிலம் (Phospho enol pyruvic acid) எனப்படும். ஈனோலேஸ் (Enolase) என்ற நொதி ஊக்கியாகும் இந்த நிகழ்ச்சியில் மக்னீஸியமும் (Mg^{++}) தேவைப்படுகின்றது.

2 ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமிலம் $\underset{\longleftarrow}{\xrightarrow{\text{ஈனோலேஸ்}}}$ 2 ஃபாஸ்ஃபோஈனால் பைருவிக் அமிலம் + நீர்



படம் 9.4.

கிரியை 11

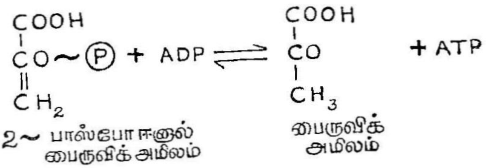
2 ~ பாஸ்போஈனால் பைருவிக் அமிலம், இந்தக் கிரியையின் போது, தன் சக்திவாய்ந்த இணைப்பிலுள்ள ஃபாஸ்ஃபேட்டை (~P) விடுவிக்கிறது. இந்தக் கிரியையில் வெளிப்படும் சக்தியின் துணையொடு, ஒரு ATP மூலக்கூறு தயாராகிறது (படம் 9.5-இல்

மேற்கண்ட ATP மூலக்கூறுகள் உண்டாவது காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது).

கிரியையின் முடிவில் பைருவிக் அமிலம் தோன்றுகின்றது.

பைருவிக் பாஸ்போ கைனேஸ்

2 ஃபாஸ்ஃபோ ஈனுல் பைருவிக் அமிலம் + ADP ⇄ பைருவிக் அமிலம் + ATP
K^{+}



படம் 9.5.

ஊக்கிகளாகின்றன. பைருவிக் அமிலம் தோன்றும்வரை க்ளைகாலிஸிஸின் நிகழ்ச்சிகளும், நொதித்தலின் நிகழ்ச்சிகளும் ஒத்திருக்கின்றன என்று முன்னரே கண்டோம்.

கிரியை 12

பைருவிக் அமிலத்திலுள்ள ஒரு கார்பன், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாக வெளி விடப்படுகின்றது. இதற்கு ஊக்கியாக, ஆல்ஃபா கார்பாக்ஸைலேஸ் (α-Carboxylase) என்ற நொதி, கோ-கார்பாக்ஸைலேஸ் என்ற இணைநொதியோடு வினைபுரிகின்றது. இதற்கு மக்னீஸியமும் தேவைப்படுகின்றது என்று கருதுகின்றனர். இதன் இறுதியில், அஸிடால்டிஹைடு (Acetaldehyde) என்ற பொருள் உண்டாகிறது. இங்கு இணைநொதியாக (Co-enzyme) வினைபுரியும் பொருள் தயமின் பைரோ ஃபாஸ்ஃபேட்டு என்னும் பொருளாகும்.

கார்பாக்ஸைலேஸ்

பைருவிக் அமிலம் ——————→ அஸிடால்டிஹைடு + கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு

கோ-கார்பாக்ஸைலேஸ் Mg^{++}

$$CH_3Co{\cdot}CooH \longrightarrow CH_3CHo + Co_2 \uparrow$$

(பைருவிக் அமிலம்) (அஸிடால்டிஹைடு)

கிரியை 13

அஸிடால் டிஹைடு, பின்னர் குறைத்தல் அடைகிறது. இந்தக் கிரியை நிகழ்வதற்கு,—இந்தக் கிரியையில் ஊக்கியாகும் நொதி பைருவிக் ஃபாஸ்ஃபோகைனேஸ் எனப்படும் பொட்டாசியமும் (K^{+}) இதற்குத் தேவைப்படுகின்றது.

காற்றில் வாழ் தாவரங்களில், பைருவிக் அமிலம் தோன்றிய வுடன் க்ளைகாலிஸிஸ் என்ற பகுதியில் நிகழவேண்டிய கிரியைகள் முடிவடைந்தன எனலாம். நொதித்தலில், பைருவிக் அமிலம் அடையும் மாற்றத்தைக் காண்போம்.

நொதித்தல்

ஈஸ்ட்டு செல்கள் தரசம், சர்க்கரை போன்ற பொருள்களை நொதிக்கச் செய்கின்றன என்று அறிவோம். காற்றில்லா நொதித் தலில் பங்குகொள்ளும் ஈஸ்ட்டு செல்கள் காற்றின்றி வாழ் உயிரினங்களைப்போல், ஆக்ஸிஜன் இல்லாத சூழ்நிலையில், வளர்ந்து பகுப்படைகின்றன. ஆனால் இவை நிலை மாறும் (Facultative) தன்மையன. காற்றுக் கிடைக்கும்போது, ஈஸ்ட்டு செல்கள், குறைந்த அளவு குளுகோஸையே சிதைக்கின்றன. காற்றில்லாதபோது அதிக அளவு குளுகோஸைச் சிதைக்கின்றன. குளுகோஸ் சர்க்கரையைக் காற்றுள்ளபோது குறைவாகச் செல விடும் திறனுக்கு பாஸ்டர் இஃபெக்ட் (Pasteur effect) என்று பெய ரிட்டனர்.

சிதைவு மாற்றங்களில் சக்தி வெளிப்படுகின்றது எனக் கண்டோம். ஈஸ்ட் செல் தனக்கு வேண்டிய சக்தியைப் பெற உபயோகிக்கும் முறை நொதித்தல் ஆகும். காற்றில்லா நிலையில் குளுகோஸ் மேற்கண்ட க்ளைகாலிஸிஸின் மாற்றங்களை அடைய ஈஸ்ட்டு செல்லில் காணப்படும் நொதிகள் 7-ல் குறைக்கப்பட்ட, $NADH_2$ என்ற இணைநொதி தன் ஹைடிரஜனை அளிக்கிறது.

$$\text{அஸிடால்டிஹைடு} + NADH_2 \underset{\text{டிஹைடிரோ ஜினேஸ்}}{\overset{\text{ஆல்கஹால்}}{\rightleftharpoons}} \text{எதில் ஆல்கஹால்} + NAD^{+}$$

$$CH_3CHo + NADH_2 \rightleftharpoons CH_3CH_2oH + NAD^{+}$$

$NADH_2$ இங்ஙனம் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுவதால் NAD^{+} ஆகிறது. எனவே முன்னர், ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்டிஹைடி

விருந்து எடுக்கப்பட்ட ஹைடிரஜன்கள், அஸிடால்டிஹைடுடன் சேர்க்கப்பட்டு, ஆல்கஹால் உற்பத்தியானது. நொதித்தலில் இறுதியான நிகழ்ச்சி குறைத்தல் (Reduction) கிரியையாகின்றது. எனவே, ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுவதற்குப்பதிலாக குளுகோஸ் மேலும் குறைத்தல் அடைந்தது எனலாம்.

நொதித்தலின் சக்தி மாற்றத்தைக் கணக்கிடுவோம். இரு 1,3-டைஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமில மூலக்கூறுகள், 3-ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரிக் அமில மூலக்கூறுகளாக மாறும்போது இரு ATP மூலக்கூறுகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. மேலும் இரு ஃபாஸ்ஃபோஈனுல் மூலக்கூறுகள் பைருவிக் அமில மூலக்கூறுகளைத் தோற்றுவிக்கும் போதும் 2 ATP மூலக்கூறுகள் உற்பத்தியாயின. தரசம் சிதைக்கப் பட்டால், நொதித்தலின் முன்னிட்ட நிகழ்ச்சிகளில் ஒன்ருன, ஃப்ரக்டோஸ் 6-ஃபாஸ்ஃபேட்டு ஃப்ரக்டோஸ் 1,6-டைஃபாஸ்ஃபேட்டாக மாறும் கிரியையின்போது ஒரு மூலக்கூறு ATP செலவாகின்றது. இதனை உற்பத்தியுடன் ஒப்பிடுகையில், 3 ATP மூலக்கூறுகள், லாபக் கணக்கின் அம்சமாகின்றன. (4 ATP உற்பத்தி – 1 ATP செலவு = 3 ATP லாபம்)

குளுகோஸ் சர்க்கரை சிதைக்கப்பட்டால், இரு கிரியைகளில் ATP தேவைப்படுகின்றது. இதனுல் தரசம் உபயோகிக்கும் ATP மூலக் கூறைவிட, ஒரு மூலக்கூறு அதிகமாகத் தேவைப்படுகிறது. எனவே, மூன்று ATP மூலக்கூறுகள் சேமிக்கப்படுவதற்குப் பதிலாக, இரண்டு ATP மூலக்கூறுகளே முடிவில் சேமிக்கப்படுகின்றன (4 ATP உற்பத்தி—2 ATP = 2 ATP).

லாக்டிக் அமில நொதித்தல் (Lactic acid Fermentation)

காற்றில்லாத தசை சுருங்கும்போது, லாக்டிக் அமிலம் தோன்றியதையும், காற்றுள்ளபோது அது மறைவதையும் முன்னர் குறிப்பிட்டதைக் கண்டோம்.

இங்கு, க்ளைகோலிஸிஸில்(Glycolysis) நிகழ்கிறது. அதாவது க்ளைகோஜன், காற்றில்லாத சிதைமாற்றத்தின் தளப்பொருளாகிறது. க்ளைகோஜன், க்ளைகோலிஸிஸ் என்ற பகுதியின் வேதியியல் மாற்றங்களை அடைந்து முடிவில் பைருவிக் அமிலமாகிறது. பைருவிக் அமிலம், லாக்டிக் அமிலமாகிறது. இந்தக் கிரியையில் பைருவிக் அமிலம் நேர்முகமாக, $NADH_2$-வால் குறைத்தல் அடைகிறது. இதற்கு ஊக்கியாக, லாக்டிக் டீஹைடிரோஜினேஸ் (Lactic dehydrogenase) என்ற நொதி செயல்புரிகின்றது.

லாக்டிக்டீஹைஹடி

பைருவிக் அமிலம் + $NADH_2$ ⇄ லாக்டிக் அமிலம்

ரோஜினேஸ்

+ NAD^+

ஆல்கஹால் நொதித்தல் நிகழ்ச்சியில் கண்டபடி இங்கும், $NADH_2$ (முன்னர் ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரால் டிஹைடின் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியில் பங்குகொண்ட NAD^+, ட்ரையோஸ் சர்க்கரையின் ஹைடிரஜன்களை ஏற்றது) பைருவிக் அமிலத்தைக் குறைக்கின்றது.

க்ளைகோஜன் (Glycogen), தரசத்தைப்போன்ற பல குளுகோஸ் சர்க்கரைகள் அமைந்த ஒரு கார்போ ஹைடிரேட்டாகும்; இது விலங்கினத்தில் சேமிக்கப்படும் கார்போஹைடிரேட்டாகும்.

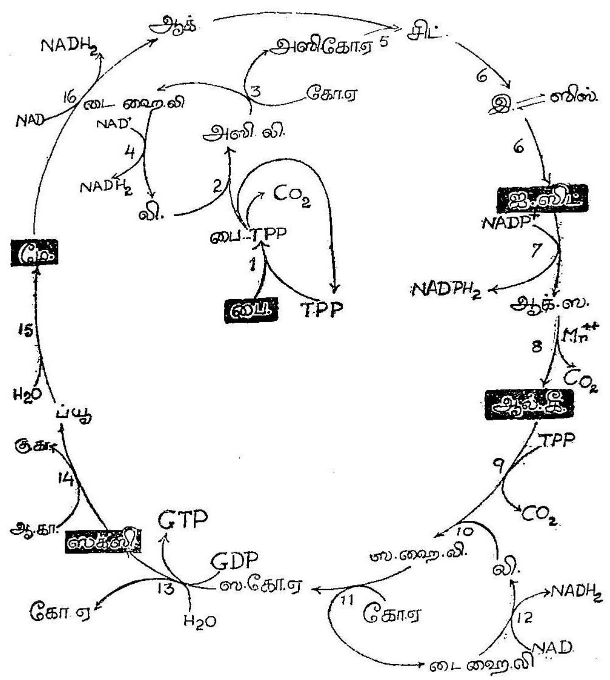
காற்றில்லாத சூழ்நிலையில் தாவரங்கள் ஆல்கஹால் நொதித்தலில் பங்குகொண்டு, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை வெளிவிடுகின்றன என்று கூறுவர், இது, பைருவிக் அமிலத்தில் சிறிதளவு கார்பன் நீக்கம் அடைந்து, பின்னர் குறைத்தல் அடைவதினுல் தோன்றலாம் என்பர். எஞ்சிய பைருவிக் அமிலம், லாக்டிக் அமிலமாவதைப்பற்றித் தெளிவாகத் தெரியவில்லை. பல தாவரங்களில் லாக்டிக் டீஹைடிரோஜினேஸ் என்ற நொதி காணப்படுவதால் லாக்டிக் அமிலமும் தோன்ற வழியுண்டு.

க்ளைகோலிஸிஸ் மாற்றங்களின் முடிவில் பைருவிக் அமிலம் தோன்றுவதாகவும், அது நொதித்தல் நிகழ்ச்சிகளில் அடையும் மாற்றத்தையும் கண்டோம். காற்றில் வாழ் தாவாங்களில் பைருவிக் அமிலம், எங்ஙனம் சிதைவுற்று, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும், நீரும் தோன்றுகின்றன என்று காண்போம்.

பைருவிக் அமிலம் முதற்கண் ஆக்ஸீகரணம் அடைந்து, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை வெளியிட்டு, அதன் பின்னர் சிட்ரிக் அமிலத்தை உண்டுபண்ணும் கிரியையில் ஈடுபடுகிறது.

சிட்ரிக் அமில சுழற்சி (Citric acid Cycle) படம் 9.6.

இதனைக் க்ரெப் சுழற்சி (Kreb's cycle) எனவும், ட்ரை கார்பாக்ஸிலிக் அமில சுழற்சி (Try carboxylic acid cycle) எனவும் அழைப்பர்.



படம் 9.6. சிட்ரிக் அமில சுழற்சி

பை.	=	பைருவேட்
அஸி. லி.	=	அஸிடைல் லிபாயேட்
அஸி. கோ. ஏ.	=	அஸிடைல் கோஎன்ஸைம்
கோ. ஏ.	=	கோஎன்ஸைம் ஏ
ஆக்.	=	ஆக்ஸலோ அஸிடேட்
இ.	=	இடைப்பொருள்
ஐ. ஸிட்.	=	ஐஸோ ஸிட்ரேட்
ஆக். ஸ.	=	ஆக்ஸலோ ஸக்ஸினேட்
ஆல். கீ.	=	ஆல்ஃபாகிடோ குளுடாரேட்
ஸ. ஹை. லி.	=	ஸக்ஸினைல் ஹைடிரோ லிபாயேட்
டை. ஹை. லி.	=	டை ஹைட்ரோ லிபாயேட்
ஸ. கோ. ஏ.	=	ஸக்ஸினைல் கோஏ
ஸக்ஸி.	=	ஸக்ஸினேட்

ஆ. கா. = ஆக்ஸிகரணம் அடைந்த காம்ப்ளெக்ஸ்

கு. கா. = குறைத்தல் அடைந்த காம்ப்ளெக்ஸ்

ப்யூ. = ப்யூமரேட்

மே. = மேலேட்

வி. = விபாயேட்

1. = பைருவேட் தயமின் பைரோ ஃபாஸ்ஃபேட் கூட்டுச் சேர்தல்

2. = அஸிடைல் விபாயேட் கூட்டுச் சேர்தல்

3. = அஸிடைல் கோஎன்ஸைம் ஏ கூட்டுச் சேர்தல்

4. = டை ஹைட்ரோ விபாயேட் ஆக்ஸிகரணிக்கப்படுதல்

5. = ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டும், அஸிடைல் கோஏவும் சேர்ந்து சிட்ரேட் உண்டாதல். நொதி சிட்ரோஜினேஸ்

6. = அகோனிடேஸ் கிரியை

7. = ஐஸோ ஸிட்ரேட் ஆக்ஸிகரணிக்கப்படுதல்

8. = கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு வெளிப்படுதல்

9. = ஆல்ஃபா கீடோ குளூடாரேட் தயமின் பைரோ ஃபாஸ்ஃபேட்டுடன் சேர்ந்து கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை வெளிவிடல்

10. = விபாயேட்-ஸக்ஸினைல் கூட்டுச் சேர்தல்

11. = ஸக்ஸினைல்-கோஎன்ஸைம் ஏ கூட்டுச் சேர்தல்

12. = டை ஹைட்ரோ விபாயேட் ஆக்ஸிகரணிக்கப்படுதல்

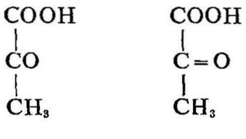
13. = ஸக்ஸினைல் கோஏவின் நீர் இணைத்தல் கிரியை
GDP = குவனேசின் டைஃபாஸ்ஃபேட்டு
GTP = குவனேசின் ட்ரை ஃபாஸ்பேட்டு உற்பத்தி

14. = ஸக்ஸினேட் மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் உள்ளுறையில் ஆக்ஸிகரணிக்கப்படுதல்

15. = ப்யூமரேட் நீருடன் சேர்ந்து மேலேட் தோன்றுதல்

16. = மேலேட் ஆக்ஸிகரணிக்கப்படுதல்

பைருவிக் அமிலத்தில் 3 கார்பன்கள் உள்ளன.



இது ஆக்ஸீகரணிக்கப்பட வேண்டும். ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சி யென்று கூறும்போது அது பின்வரும் மாற்றங்களில் ஒன்றாக இருத்தல் வேண்டும்.

1. ஆக்ஸிஜன் இணக்கம்
2. ஹைடிரஜன் நீக்கம்
3. எலெக்ட்ரான்களின் நீக்கம்

தாவரங்களில் நிகழும் காற்றுள்ள 'சுவாசம்' அல்லது காற்றில் நிகழும் சிதைமாற்றங்களில், தளப்பொருள்களிலுள்ள ஹைடிரஜன்கள் (அல்லது எலெக்ட்ரான்கள்) ஆக்ஸிஜனுடன் இணைகின்றன. இதனால் நீர் தோன்றுகிறது. இத்தகைய ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியில் ஆக்ஸிஜன் கிளர்த்தப்படுகின்றதா அல்லது தளப் பொருள்களிலுள்ள ஹைடிரஜன் கிளர்த்தப்படுகின்றதா என்ற ஐயம் எழுந்தது.

1920-ல் வார்பர்க் (Warburg), இரும்புச் சேர்க்கையுள்ள பொருள்கள், சுவாசித்தலில் நிகழும் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியில், ஆக்ஸிஜனைக் கிளர்த்துகின்றன எனக் கருதினர். சுவாசித்தலில் பங்கு கொள்ளும் இத்தகைய இரும்புச் சேர்க்கையுள்ள பொருள்கள், ஹைடிரஜன் சல்பைடு (Hydrogen sulphide), பொட்டாசியம் சயனைடு (Potassium Cyanide) போன்ற நச்சுப் பொருள்களால் பாதிக்கப் படுகின்றன. இதனால் சுவாசித்தல் தடை செய்யப் படுவதைக் கண்டார்.

இந்த ஆய்வுகளுக்குமுன்னரே 1912-ல் வீலேண்ட் (Wieland), பல்லேடியம் (Palladium) என்ற உலோகம், நீர்சேர்ந்த (Hydrated) அஸிடால்டிஹைடை (Acetaldehyde) ஆக்ஸீகரணம் அடையச் செய்வதைக் கண்டார்,

அஸிடால்டிஹைடிலிருந்து அகற்றப்பட்ட ஹைடிரஜன் உலோகத்தைப் பற்றிக்கொண்டிருப்பதைக் கண்டார். அப்போது ஆக்ஸிஜன் அங்கு இருந்தால், உலோகத்திலுள்ள ஹைடிரஜன் ஆக்ஸிஜனோடு வினைபுரிந்து நீர் உண்டாகிறது. ஆக்ஸிஜன் இல்லாத சூழ்நிலையில், ஹைடிரஜன் உலோகத்தோடே ஒட்டிக் கொண்டிருக்கிறது. $(Pd—H_2)+\frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + (Pd)$ இங்கு Pd = பல்லேடியம்.

இதனால், பல்லேடியம் என்ற உலோகம், அஸிடால்டிஹைடிலுள்ள ஹைடிரஜனைக் கிளர்த்தியது இங்கு பெறப்படும். இந்த மாற்றங்களில் மூன்று வினைகள் நிகழ்கின்றன.

1. அஸிடால்டிஹைடு ஹைடிரஜனைக் கொடுக்கிறது. (Donates its Hydrogen).

2. பல்லேடியம் ஹைடிரஜனைக் கடத்துகின்றது. (Transports the Hydrogen).

3. ஆக்ஸிஜன் ஹைடிரஜனை ஏற்கிறது. (Accepts the Hydrogen).

எனவே ஹைடிரஜனைக் கொடுப்பானுக்கும், ஏற்பானுக்கும் இடையே பல்லேடியம் வினைபுரிந்து, ஹைடிரஜனைக் கிளர்த்தி ஆக்ஸிஜனோடு சேர்க்கிறது.

ஸெண்ட் கியார்கி (Szent-Gyorghi) என்பவர் மேற்கண்ட இரு கோட்பாடுகளையும் இணைத்து ஹைடிரஜனைக் கிளர்த்தலும், ஆக்ஸிஜனைக் கிளர்த்தலும் சுவாசித்தலில் நிகழ்கிறது என்று கூறினார்.

சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் இவை நிகழும் வகையைக் காண்போம். இந்தக் கிரியைகள் மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களில் நிகழ்கின்றன. கார்போஹைடிரேட்டுகளின் சிதைமாற்றங்கள் மட்டுமின்றி, கொழுப்பு அமிலங்களைச் சிதைத்தல்; அல்லது அவற்றை உண்டுபண்ணுதல்; பாஸ்போலிபிடுகளை உண்டுபண்ணும் இறுதி நிலைகள்; அமினோ அமிலங்களிடையே மாற்றங்கள்; ATP-யின் துணையில் நிகழும் வளர்மாற்றங்கள்; போன்ற அனைத்தும் மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களில் நிகழ்கின்றன.

பாக்டீரியா என்னும் நுண்ணிய உயிரிகளில் மைட்டோகோண்ட்ரியாக்கள் காணப்படவில்லை. ஆனால் மைட்டோகோண்ட்ரியாவிலுள்ள உறைச்சவ்வுகளை ஒத்த சவ்வுகள், இவைகளின் செல்களில் காணப்படுகின்றன. இதனால் இவற்றுள் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியின் மாற்றங்கள் நிகழலாம் என்று கருதுகின்றனர்.

சிட்ரிக் அமில சுழற்சியைப்பற்றிய ஆய்வு 1936-ம் ஆண்டிலிருந்தே துவங்கியது. ஸெண்ட்கியார்கி விலங்கினத்தின் தசைகளில் பல ஆய்வுகளை நிகழ்த்தினர். தசைகள், அதிகமான அளவு ஆக்ஸிஜனை எடுத்துக்கொள்வதற்கு, இரு கார்பாக்ஸில் பகுதிகளைக் கொண்ட ஸக்ஸினிக் அமிலம் (Succinic acid) உதவுகிறது என்று அவர் கண்டு பிடித்தார்.

$$\begin{array}{l} CH_2\ CooH \\ | \\ CH_2\ CooH \end{array}$$

ஸக்ஸினிக் அமிலம்

ஸக்ஸினிக் அமிலம், இரும்புச் சேர்க்கையுள்ள ஸைடோகுரோம்களுக்கும், டீஹைடிரோஜினேஸ் என்ற நொதிகளுக்கும் இடையில் வினைபுரிகின்றது என்று அவர் கருதினர்.

1937-ல் க்ரெப்ஸ் (Krebs) என்பவரும், ஜான்ஸன் (Johnson) என்பவரும், மூன்று கார்பாக்ஸில் பகுதிகளைக்கொண்ட சிட்ரிக் அமிலத்தின் முக்கியத்துவத்தைக் கண்டனர்.

$$\begin{array}{l} \quad CH_2\ CooH \\ \quad\ | \\ HOC \cdot CooH \\ \quad\ | \\ \quad CH_2\ CooH \end{array}$$

சிட்ரிக் அமிலம். இது சுவாசித்தலுக்கு ஊக்கியாகின்றது எனக் கண்டனர்.

ப்யூமாரிக் அமிலம் (Fumaric acid), ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமிலம் (Oxalo acetic acid) முதலியவற்றை சுவாசிக்கும் திசுக்களுக்குச் செலுத்தினுல் அவை ஆக்ஸிஜனை உட்கொள்ளுகின்றனவென்றும், பின்னர் இவை ஸக்ஸினிக் அமிலத்தை உண்டுபண்ணுகின்றனவென்றும் கண்டனர்.

மேற்கண்ட ஆய்வுகளின் பயனுக இன்று நாம் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியின் மாற்றங்களை அறிய முடிந்தது. க்ரெப் சுழற்சியென்று இதனை அழைத்தலும் சாலப் பொருந்தும்.

அஸிடைல் கோஏயின் தோற்றம்

பைருவிக் அமிலத்தின் ஆக்ஸீகரணமே இதற்கு முதற்படியாகும். பைருவிக் அமிலம் ஆல்பா-கீடோ அமிலம் எனப்படும். இத்தகைய கீடோ அமிலங்களின் ஆக்ஸீகரணத்தில் மூன்று இரு காரணிகள் (Co-factors) பங்குகொள்ளுகின்றன. இவைகளின் மூலம் கீடோ அமிலங்கள் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுவதுடன், கார்பன் நீக்கமும் (Removal of carbon) அடைகின்றன. பின் குறிப்பிட்டதை டிகார்பாக்ஸைலேஷன் (Decarboxylation) என்றழைப்பர். மேற்கண்ட இரு நிகழ்ச்சிகளும் மூன்று படிகளில் நிகழ்கின்றன.

கிரியை 1

பைருவேட்டின் ஆக்ஸீகரணம் (Pyruvate dehydrogenase Complex) பைருவேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் காம்ப்ளெக்ஸ் என்ற நொதித் தொகுதியால் நிகழ்கின்றது. முதலில் பைருவிக் அமிலம் தயாமின் பைரோஃபாஸ்ஃபேட்டு (Tpp or Thiamine Pyrophosphate) என்ற இணைகாரணியுடன் வினைபுரிகிறது. இதனுல் தயாமின் பைரோஃபாஸ்ஃபேட்டுடன் பைருவிக் அமிலம் இணைகிறது. இரண்டும் சேர்ந்த ஒரு கலவைப் பொருள் தோன்றுகின்றது. இதற்கு பைருவேட் டிகார்பாக்ஸைலேஸ் நொதியாகிறது.

பைருவிக் அமிலம் + தயாமின் பைரோஃபாஸ்ஃபேட்டு $\rightleftharpoons$

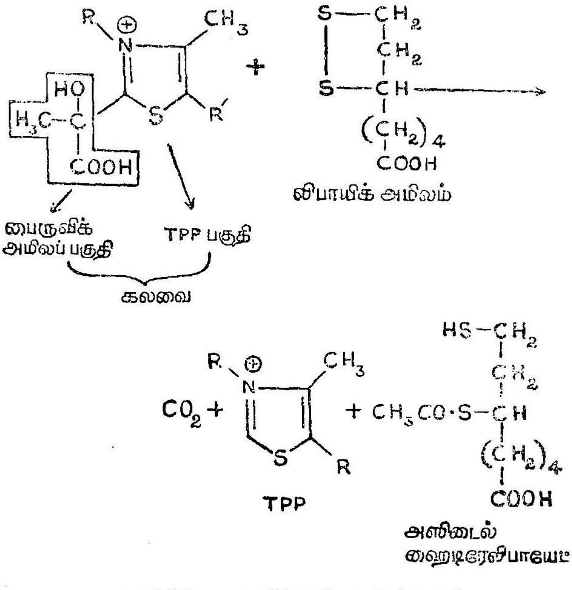
தயாமின் பைரோஃபாஸ்ஃபேட்டு—பைருவிக் அமிலக் கலவை

பின்னர் இந்தக் கலவை, லிபாயிக் அமிலத்துடன் சேர்கிறது. இந்த நிலையில் கலவையானது, பைருவிக் அமிலத்திலுள்ள ஒரு கார்பனைக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாக வெளி விடுகிறது. மேலும் எஞ்சியுள்ள அஸிடைல் பகுதியை, லிபாயிக் அமிலத்திற்கு மாற்றி, TPP விடுபடுகிறது. இதனால் திரும்பத் திரும்ப பைருவிக் அமில மூலக்கூறுகளோடு TPP வினைபுரிய ஏதுவாகிறது.

லிபாயிக் அமிலத்தின் சல்பர் பகுதியோடு, மேற்கண்ட அஸிடைல் பகுதி இணைகிறது. அஸிடைல் பகுதியை லிபாயிக் அமிலத்துடன் இணைத்து, லிபாயிக் அமிலத்தைக் குறைக்கும் நொதி லிபாயிக் ரிடக்டேஸ் ட்ரான்ஸ் அஸிடிலேஸ் (Lipoic Reductase transacetylase).

தயாமின் பைரோபாஸ்பேட்டு பைருவிக் அமிலக் கலவை+ லிபாயிக் அமிலம்→CO_2+தயாமின் பைரோ ஃபாஸ்ஃபேட்டு+ 6 சல்பர் அஸிடைல் ஹைடிரோலிபாயேட்

இந்த சல்பர் பகுதி, லிபாயிக் அமிலத்தின் 6-வது கார்பன் பகுதியோடு இணைந்ததாகும்.

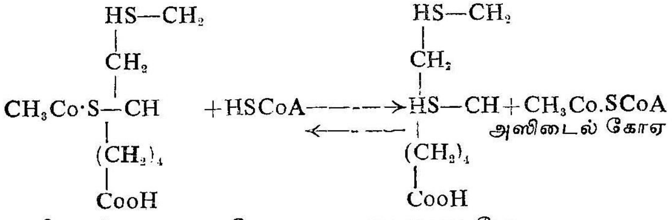


படம் 9.7. பைருவிக் அமில ஆக்ஸீகரணம்

அஸிடைல் பகுதி லிபாயிக் அமிலத்தோடு இணைந்து அஸிடைல் டைஹைடிரோ லிபாயேட் (Acetyl dihydrolipoate) என்ற பொருள் உண்டானபோது ஓர் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சி நடந்ததெனலாம். ஏனெனில் மூன்றும் நிகழ்ச்சியில், கோஎன்ஸைம்ஏ (CoenzymeAorCo A) என்ற இணைநொதி வினைபுரியும்போது ஆக்ஸீகரணிக்கப்பட்ட அஸிடைல் பகுதியை ஹைடிரோலிபாயிக் பகுதியிலிருந்து பிரித்தெடுக்கிறது. இதனால் லிபாயிக் அமிலம் குறைத்தல் அடைந்த டைஹைடிரோ லிபாயிக் அமிலமாக விடுபடுகிறது.

அஸிடைல்டைஹைடிரோலிபாயேட் + கோஏ ⟵——— ———⟶ அஸிடைல் கோஏ + டைஹைடிரோ லிபாயேட்

கோஏ என்ற இணைகாரணியின் சல்பைட்ரைல் (HS) என்ற பகுதியோடு அஸிடைல் பகுதி இணைகிறது. எனவே கோஏ என்று குறிப்பிடுவதற்குப் பதிலாக HS கோஏ (HSCoA) என்றும்



அஸிடைல் டைஹைடிரோ லிபாயேட்

டைஹைடிரோ லிபாயேட்

அழைக்கலாம்.

மேற்கண்ட மூன்று படிகளில், TPP (தயாமின் பைரோபாஸ்பேட்டு) லிபாயிக் அமிலம் (Lipoic acid), கோஏ (CoA) என்ற மூன்று இணைநொதிகளும், அவைகளுடைய நொதிகளும் சேர்ந்து பைருவிக் அமிலத்திலுள்ள ஒரு கார்பனை அகற்றி, அதனை ஆக்ஸீகரணித்தன.

குறைத்தல் அடைந்த லிபாயிக் அமிலம் NAD^+ இணைநொதியுடன் வினைபுரிந்து, தான் பைருவிக் அமிலத்திலிருந்து அகற்றிய எலெக்ட்ரான்களை NAD^+-க்கு மாற்றுகிறது. இதனால் லிபாயிக் அமிலம் விடுபடுகிறது. மேற்கண்ட NAD லிபாயிக் டீஹைடிரோஜினேஸ் என்ற நொதியின் இணைநொதியாக வினைபுரிகின்றது.

டைஹைடிரோ லிபாயேட்டு + NAD^+ ⇌ $NADH + H^+$ + லிபாயேட்டு

இங்ஙனம் குறைத்தல் அடைந்த $NADH_2$, எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தொடரை அணுகுகிறது. எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடர் நிகழ்ச்சிகளைப் பின்வரும் பகுதிகளில் காண்போம்.

மேற்கண்ட நிகழ்ச்சிகளின் பயனாக, முடிவாகக் கிடைத்த பொருள்கள், அஸிடைல் கோஏ, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு, குறைத்தல் அடைந்த NAD ($NADH_2$), என்ற மூன்று பொருள்களாகின்றன.

அஸிடைல் பகுதியில் இருப்பது இரு கார்பன்களே என்பது நினைவில் நிற்கவேண்டும். ஏனெனில் பைருவிக் அமிலத்திலிருந்த மூன்று கார்பன்களில் ஒன்று, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாகி வெளியேறுகிறது.

இனி சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் பங்குகொள்வன, பைருவிக் அமிலத்துள்ள இரு கார்பன்கள். இவை அஸிடைல் உருவத்தில் கோஏவுடன் இணைந்திருக்கின்றன. இந்நிலையில் ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமிலம் (Oxalo acetic acid) இதனுடன் வினைபுரிகிறது.

கிரியை 2

$$\text{அஸிடைல் கோஏ} + \text{ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமிலம்} \underset{}{\overset{\text{சிட்ராஜினேஸ்}}{\rightleftharpoons}} \text{சிட்ரிக் அமிலம்} + \text{கோஏ}$$

இந்தக் கிரியையில் ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமிலமும், அஸிடைல் கோஏவிலுள்ள, அஸிடைல் பகுதியும் சேர்த்து, சிட்ரிக் அமிலமாக உருவாக்கப்படுகின்றன. இதனால் கோஏ பகுதி வெளியிடப்படுகிறது. இந்தக் கிரியையில் சிட்ராஜினேஸ் (Citrogenase) என்ற நொதி ஊக்கியாகின்றது.

இங்ஙனம் சிட்ரிக் அமில சுழற்சி, ஆக்ஸலோ அஸிடேட்டும் அஸிடைல் பகுதியும் ஒன்று சேர்க்கப்பட்டுக் கிடைக்கும் சிட்ரிக் அமிலத்தின் தோற்றத்திலிருந்து துவங்குகின்றது.

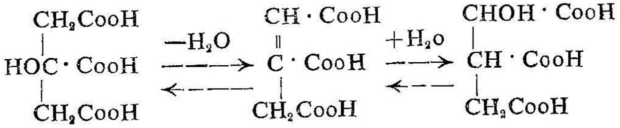
கிரியை 3

இனி சிட்ரிக் அமில மாற்றங்களில் ஈடுபடுவது அகோனிடேஸ் (Aconitase) என்ற நொதியாகும். பல உயிரிகளில் காணப்படும் நொதிகளில் இதுவும் ஒன்றாகும். சிட்ரிக் அமிலத்தை, ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலமாக (Isocitric acid) மாற்றுதல், அல்லது ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலத்தை மாற்றி சிட்ரிக் அமிலமாக்குதல் போன்ற நிகழ்ச்சிகளில், அகோனிடேஸ் பங்குகொள்கின்றது. முன்னிருந்த

கோட்பாட்டின்படி மேற்கண்ட கிரியை இரு படிகளில் நிகழ்வதாகக் கருதப்பட்டது.

சிட்ரிக் அமிலம் $\underset{\longleftarrow}{\xrightarrow{-H_2O}}$ ஸிஸ்-அகோனிடிக் அமிலம் $\underset{\longleftarrow}{\xrightarrow{+H_2O}}$

ஐஸோ ஸிட்ரிக் அமிலம்



சிட்ரிக் அமிலம் ஸிஸ்-அகோனிடிக் அமிலம் ஐஸோசிட்ரிக் அமிலம்

அண்மையில் நிகழ்த்திய சோதனைகளின் வாயிலாக மேற்கண்ட கிரியையில் நிகழும் மாற்றங்கள், வேறொரு முறையில் நிகழ்வதாக அறிந்துள்ளனர்.

இதன்படி அகோனிடேஸ் என்ற நொதி தளப்பொருளான சிட்ரிக் அமிலத்தோடு சேர்கிறது. இங்ஙனம் சேர்ந்து உண்டான கலவையின் மூலக்கூறுகளுக்குள் ஏற்படும் அமைப்பு மாற்றத்தினுல் ஒரு புதிய பொருள் உண்டாகின்றது. அது கார்போனியம் அயான் காம்ப்ளெக்ஸ் (Carbonium ion Complex) எனப்படும். இது, சிட்ரிக் அமிலம், ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலம், ஸிஸ்-அகோனிடிக் அமிலம் போன்ற மூன்று அமிலங்களுக்கும் பொதுவான இடைப்பொருளாக (Common intermediate) வினைபுரிகின்றது. இந்தக் கிரியையின் முடிவில் ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலமே தோன்றுகின்றது எனக் கருதுகின்றனர்.

(1) சிட்ரிக் அமிலம் ⇄ (இடைப் பொருள்) ⇄ ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலம்

‖

ஸிஸ்-அகோனிடிக் அமிலம்

(2) சிட்ரிக் அமிலம் $\underset{\longleftarrow}{\xrightarrow{\text{அகோனிடேஸ்}}}$ ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலம்

கிரியை 4

ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலம் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுகிறது. ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலத்தின் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியில் ஊக்கியாகும் நொதி, அமிலத்திலிருந்து ஒரு கார்பனை நீக்கும் வினையிலும் பங்குகொள்ளு

கின்றது. இதற்கு NADP இணைநொதியாகின்றது. இந்தக் கிரியை நிகழும் சூழ்நிலையில் மாங்கனீஸும் (Mn^{++}) தேவைப்படுகிறது. மேற்கண்ட கிரியை இரு படிகளில் நிகழ்வதாகவும் கூறுவர். முதலில் நிகழ்வது ஆக்ஸீகரணமாகும். அந்த நிகழ்ச்சியில், ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலத்திலுள்ள ஹைடிரஜன்கள் நீக்கப்பட்டு NADP-ஐக் குறைக்கின்றன. இதனால் ஆக்ஸலோ ஸக்ஸினிக் அமிலம் தோன்றுகின்றது. இது பின்னர் ஒரு கார்பனை, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாக வெளியிட்டு, ஆல்பா கீடோ குளுடாரிக் அமிலமாகிறது.

ஆனால், ஆக்ஸலோ ஸக்ஸினிக் அமிலம் நொதியை விட்டு அகலுமுன்பே, கார்பன் நீக்கமும் ஏற்படுவதால் சுயேச்சையாக ஆக்ஸலோ ஸக்ஸினிக் அமிலம் கிரியையில் தோன்றுவதில்லை என்று கண்டுள்ளனர்.

(1) CH_2CooH | $CH\ CooH$ | $CHOHCooH$ (ஐஸோ சிட்ரேட் (ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலம்)) $+ NADP^+$ —ஐஸோ சிட்ரிக் டீஹைடிரோஜினேஸ்→ CH_2CooH | $CHCooH$ | $COCOOH$ (ஆக்ஸலோ ஸக்ஸினிக் அமிலம்) $+ NADPH_2$

(2) CH_2CooH | $CH\ CooH$ | $Co\ CooH$ (ஆக்ஸலோ ஸக்ஸினிக் அமிலம்) —Mn^{++}→ CH_2CooH | CH_2 | $Co\ CooH$ (ஆல்பா கீடோ குளுடாரிக் அமிலம்) $+ CO_2\uparrow$

எனவே ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலத்திலுள்ள ஹைடிரஜன்களை $NADP^+$ ஏற்று, எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தொடரை அணுகுகின்றது. இதனால் இரண்டாம் முறையாக எலெக்ட்ரான் ஜோடிகள் தளப் பொருள்களை விட்டு அகலுகின்றன. மேற்கண்ட இரு நிகழ்ச்சிகளையும் கீழ்வரும் சமன்பாட்டில் குறிப்பிடலாம்.

ஐஸோ சிட்ரிக் அமிலம் $+ NADP^+$ ⇌ (ஐஸோ சிட்ரிக் டீஹைடிரோஜினேஸ்) ஆல்பா கீடோ குளுடாரிக் அமிலம் $+ CO_2 + NADPH$

கிரியை 5

ஆல்பா கீடோ குளுடாரிக் அமிலம், இனி ஆக்ஸீகரணம் அடைகின்றது. இதுவும் பைருவிக் அமிலத்தைப் போன்றதொரு ஆல்பா கீடோ அமிலமாதலால், அவையிரண்டும் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சிகளில் ஒத்திருக்கின்றன. இங்கும் மூன்று இணைகாரணிகள் வினைபுரிகின்றன.

முதலில் ஆல்பா கீடோ குளுடாரேட் என்ற அமிலத்தோடு TPP இணைந்து, ஒரு கலவை உண்டுபண்ணுகிறது. பின்னர் ஒரு கார்பனைக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாக மாற்றி வெளியேற்றுவதுடன் எஞ்சியுள்ள ஸக்ஸினைல் பகுதியை லிபாயிக் அமிலத்துடன் சேர்க்கிறது. இதனால் சல்பர் ஸக்ஸினைல் டை ஹைடிரோ லிபாயேட் உண்டாகிறது.

(1) ஆல்பா - கீடோ குளுடாரிக் அமிலம் + TPP $\rightleftarrows$ ஆல்பா கீடோ குளுடாரிக் அமிலம்—TPP கலவை

(2) ஆல்பா கீடோ குளுடாரிக் அமிலம்—TPP கலவை + லிபாயிக் அமிலம்

குளுடாரிக்
டீஹைடிரோஜினேஸ்
$\rightleftarrows$

6 சல்பர் ஸக்ஸினைல் டை ஹைடிரோ லிபாயேட் + Co_2

இந்த நிகழ்ச்சியில் மூன்றாவது முறையாகக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு வெளி வருகிறது. பைருவிக் அமிலத்திலிருந்தும், ஐஸோசிட்ரிக் அமிலத்திலிருந்தும், ஆல்பா கீடோ குளுடாரிக் அமிலத்திலிருந்தும், வெளிவரும் நிகழ்ச்சியாக மூன்று கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு மூலக்கூறுகள் தோன்றுகின்றன. க்ளைகாலிஸிஸின் முடிவில் இரு பைருவிக் அமில மூலக் கூறுகள் தோன்றுவதால், ($3\ Co_2 \times 2$) மேற்கண்ட எண்ணிக்கையைப் பெருக்குக. இதனால் 6 Co_2 மூலக் கூறுகள் கிடைக்கின்றன.

பின்னர், ஸக்ஸினைல் டை ஹைடிரோ லிபாயேட் (அல்லது ஸக்ஸினைல் டை ஹைடிரோ லிபாயிக் அமிலம்) அடையும் மாற்றங்களைக் கவனிப்போம்.

(3) 6 சல்பர் ஸக்ஸினைல் டை ஹைடிரோ லிபாயேட்டு + HS கோஎ $\rightleftarrows$ டை ஹைடிரோ லிபாயேட்டு + ஸக்ஸினைல் கோஎ

இந்த மாற்றத்தில் ஊக்கியாக வினைபுரிவது தயால் டிரான்ஸ் அஸிலேஸ் (Thiel trans acelase) என்ற நொதியாகும்.

முன்னர் அஸிடைல் பகுதி கோஎவுக்கு மாற்றப்பட்டதைப் போல், இங்கு ஸக்ஸினைல் பகுதி கோஎவுக்கு மாற்றப்படுகிறது

(4) ஸக்ஸினைல் கோஎ, பின்னர் நீர் இணைத்தல் (Hydrolysis) என்னும் மாற்றத்தின்மூலம், கோஎ பகுதியிலிருந்து விடுபடுகின்றது என்பர். இதனுல் ஸக்ஸினேட் (அல்லது ஸக்ஸினிக் அமிலம்) உண்டாகிறது.

$$\text{ஸக்ஸினைல் கோஎ} + H_2O \underset{\longleftarrow}{\xrightarrow{\text{டீ அஸிலேஸ்}}} \text{ஸக்ஸினேட்டு} + \text{கோஎ}$$

ஆனுல் இதனையே வேருெரு மாற்றமாகக் கூறும்போது சக்தி வாய்ந்த குயனேஸின் ட்ரை பாஸ்பேட்டு (GTP or Guanosine triphosphate) என்ற பொருள் உற்பத்தியாகும் கிரியையினை ஸக்ஸினிக் அமிலம் உண்டாகும் நிகழ்ச்சியோடு இணைத்துள்ளனர்.

$$GDP + H_3Po_4 + \text{ஸக்ஸினைல் கோஎ} \longrightarrow GTP + \text{ஸக்ஸினேட்} + \text{கோஎ}$$

ATP-ஐப்போன்று GTP-யும் உயர்சக்தி ஃபாஸ்ஃபேட் ஆகையால் GTP-யின் உற்பத்தியும் ATP-யின் உற்பத்தியோடு கணக்கிடப்படுகிறது.

கிரியை 6

ஸக்ஸினிக் அமிலம், ஸக்ஸினிக் டீஹைடிரோஜினேஸ் என்ற நொதியால் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுகிறது இதற்கு இணைநொதியாக வினைபுரிவது ஃப்ளேவின் அடினைன் டை நியூக்ளியோடைட் (Flavin Adenine dinucleotide) என்ற பொருளாகும்.

$$\text{ஸக்ஸினிக் அமிலம்} + FAD \underset{\substack{\text{டீஹைடிரோ} \\ \text{ஜினேஸ்}}}{\overset{\text{ஸக்ஸினிக்}}{\rightleftarrows}} \text{ஃப்யூமாரிக் அமிலம்} + FADH_2$$

இந்தக் கிரியையின் முடிவில் ஃப்யூமாரிக் அமிலமும், குறைத்தல் அடைந்த FAD-யும் கிடைக்கின்றன. மேற்கண்ட கிரியை மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் உள்ளுறையில் நிகழ்கின்றது.

கிரியை 7

ஃப்யூமாரிக் அமிலம், நீருடன் இணைந்து, எல். மேலிக் அமிலம் (L. Malic acid) உண்டாகின்றது. ஃப்யூமரேஸ் என்ற நொதி இதற்கு ஊக்கியாகின்றது.

கிரியை 8

இது சிட்ரிக் அமில சுழற்சியின் இறுதிப் படியாகும். இந்த நிகழ்ச்சியின்போது மேலிக் அமிலம் ஆக்ஸீகரணம் அடைந்து, ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமிலத்தை உண்டுபண்ணுகிறது.

மேலிக் டீ ஹைறடிரோஜினேஸ் (Malic dehydrogenase) என்ற நொதி இங்கு ஊக்கியாகின்றது. இதற்கு இணைநொதியாக NAD வினைபுரிகிறது.

எனவே, இந்த ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியின் விளைவாக, மேலிக் அமிலத்திலிருந்து ஒரு ஜோடி எலெக்ட்ரான் அகற்றப்பட்டு, $NADH_2$ உருவில் எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தொடரை அணுகுகின்றன.

ஸக்ஸினிக் அமிலத்தின் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியில் மட்டும் NAD பங்குகொள்வதில்லை எனக் கண்டோம்.

கீழ்வரும் அட்டவணையில் குளுகோஸ் சிதைவை ஆய்வோம்.

	முடிவுப் பொருள்கள்
1 குளுகோஸ் மூலக்கூறு க்ளைகாலிஸிஸ் நிகழ்ச்சியில் உற்பத்தி செய்வது	= 2 கிளிஸரால் டிஹைறடு ஃபாஸ்ஃபோ மூலக்கூறுகள்
1 கிளிஸரால் டிஹைறடு மூலக்கூறு சிதைவுற்று முடிவில் உற்பத்திசெய்வது	= 1 பைருவிக் அமில மூலக்கூறு
∴ 2 கிளிஸரால் டிஹைறடு மூலக்கூறுகள் உற்பத்தி செய்வது	= 2 பைருவிக் அமில மூலக்கூறுகள்
க்ளைகாலிஸிஸின் முடிவில் கிடைப்பது	= 2 ,,
1 பைருவிக் அமில மூலக்கூறு மாறித் தோன்றுவது	= 1 அஸிடைல் கோஏ
∴ 2 பைருவிக் அமில மூலக் கூறுகள் மாறித் தோன்றுவது	= 2 அஸிடைல் கோஏ

	எலெக்ட்ரான்கள்
1 கிளிஸரால் டிஹைடு ஆக்ஸிகரணிக்கப்பட்டு வெளிவரும் எலெக்ட்ரான்கள்	= 1 ஜதை
2 கிளிஸரால் மூலக்கூறுகள் ஆக்ஸிகரணிக் கப்பட்டு வெளி வருவன	= 2 ஜதைகள்
∴ கிளைகாலிஸிஸில் வெளிவருவன =	2 ஜதை எலெக்ட்ரான்கள்

1 பைருவிக் அமில மூலக்கூறு ஆக்ஸிகரணிக்கப்பட்டு வெளி வருவன	= 1 ஜதை எலெக்ட்ரான்கள்
∴ 2 பைருவிக் அமில மூலக் கூறுகள் ஆக்ஸிகரணிக்கப்பட்டு வெளிவருவன	= 2 ஜதை ,,

1 அஸிடைல் கோஎ மூலக்கூறு ஆக்ஸலோ-அஸிடிக் அமிலத்துடன் இணைந்து ஒரு சிட்ரிக் அமில மூலக்கூறைத் தோற்றுவிக்கிறது.

∴ 2 அஸிடைல் கோஎ மூலக்கூறுகள் வினை புரிந்து 2 சிட்ரிக் அமில மூலக் கூறுகளைத் தோற்றுவிப்பதால் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் தோன்றும்பொருள்களை இரண்டாகக் கருத வேண்டும்.

2 ஐஸோ சிட்ரிக் அமில மூலக் கூறுகள் ஆக்ஸிகரணிக்கப்பட்டு வெளிவருவன	= 2 ஜதை எலெக்ட்ரான்கள்
2 ஆல்பா-கீடோ குளுடாரிக் அமில மூலம் கூறுகள் ஆக்ஸிகரணிக்கப்பட்டு வெளி வருவன	= 2 ஜதை எலெக்ட்ரான்கள்
2 ஸக்ஸினிக் அமில மூலக் கூறுகள் ஆக்ஸிகரணிக்கப்பட்டு வெளி வருவன	= 2 ஜதை எலெக்ட்ரான்கள்
2 மேலிக் அமில மூலக் கூறுகள் ஆக்ஸிகரணிக்கப்பட்டு வெளி வருவன	2 ஜதை எலெக்ட்ரான்கள்
∴ சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் வெளி வருவன	$5 \times 2 = 10$ ஜதை எலெக்ட்ரான்கள்

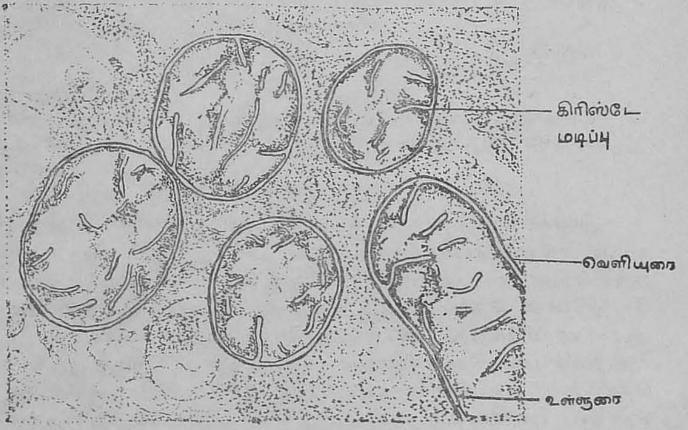
	கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு
2 பைருவிக் அமில மூலக் கூறுகள் அகற்றும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு	= 2 மூலக் கூறுகள்
2 ஐஸோ சிட்ரிக் அமில மூலக் கூறுகள் அகற்றும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு	= 2 மூலக் கூறுகள்
2 ஆல்பா கீடோ குளுடாரிக் அமில மூலக் கூறுகள் அகற்றும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு	= 2 மூலக் கூறுகள்
∴ சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் வெளிவரும் 6 கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு	= மூலக் கூறுகள் ($6\ CO_2$)

இங்ஙனம் ஆக்ஸீகரணிக்கப்பட்ட பொருள்களிலிருந்து வெளிவரும் எலெக்ட்ரான்களை NAD, NADP, FAD போன்றவை ஏற்கின்றன என்று கண்டோம். ஆனால் ஸக்ஸினிக் டீஹைடிரோஜினேஸ் நேர்முகமாக உள்ளுறையில் ஸக்ஸினிக் அமிலத்தை ஆக்ஸீகரணிக்கிறது. எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரில் பல நொதிகள் பங்குகொள்கின்றன. அவற்றை ஒவ்வொரு குழுவாகத் தொகுத்து காம்ப்ளெக்ஸ்கள் (Complexes) என்றழைக்கின்றனர். நொதிப் புரதங்கள் மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் உறைகளில் காணப்படுவதை நாம் அறிவோம்.

சிதைவு மாற்றங்களில் பெரும்பகுதி மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் வெளியுறையிலுள்ள புரதங்களின் உதவியால் நிகழ்கிறது. சுருங்கச் சொல்லின், சிட்ரிக் அமில சுழற்சியின் சிதைமாற்றங்கள் அனைத்தும் (ஸக்ஸினிக் அமில ஆக்ஸீகரணத்தைத் தவிர) மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் வெளியுறையில் நிகழ்கின்றன. ஸக்ஸினிக் அமிலம் தோன்றுவதற்குமுன், ஸக்ஸினைல் கோஎ என்ற உருவில் ஏற்படும் மாற்றத்தில், GTP உற்பத்தியாகின்றது எனக் கண்டோம். அத்தகைய தளப்பொருளோடு இணைந்த ஃபாஸ்ஃபரீகரண (Substrate level phosphorycation) நிகழ்ச்சி வெளியுறையில் நிகழ்கின்றது. மேலும் கொழுப்பு அமிலங்களின் வளர்சிதை மாற்றங்களும், அடினைன் கூட்டுப் பொருள்களின் மாற்றங்களும், சில ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடுகளை உற்பத்திசெய்தலும் இங்கு நடைபெறுகின்றன.

எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தொடர் உள்ளுறையில் அமைந்துள்ளது. ஸக்ஸினிக் அமிலத்தை ஆக்ஸீகரணித்தலும், NADH, $NADPH_2$ போன்றவற்றை ஆக்ஸீகரணித்தலும் உள்ளுறையில்

தான் நிகழ்கின்றது. மேலும், சக்திமாற்றத்தின் முக்கிய அம்சமான ஆக்ஸீகரண ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் உள்ளுறையில் நிகழ்வதாகும். அயனியைக் கடத்தலும் (Ion translocation), ATP-ஐ சிதைத்தலும் இங்கு நிகழ்கின்றன. (எலெக்ட்ரான் நுண்ணோக்கியில் உள்ளுறை, வெளியுறை இரண்டின் தோற்றத்தைப் படம் 9.8-ல் காண்க.



படம் 9.8. மைட்டோகோண்ட்ரியாவைப் பிரித்தல்
ஸென்ட்ரிப்யூஜ்களில் சுழற்றப்பட்ட ஸெல்லின் கூறுகள் தனித்தனியாகப் பிரிதல்

சிதைமாற்றங்களின் கிரியைகளை மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் உறைகள் இங்ஙனம் பகிர்ந்துகொள்கின்றன.

உள்ளுறைச் சவ்வின் அமைப்பு

இது அடுத்தடுத்துவரும் சிறு அலகுகளைக் கொண்டிருக்கின்றது. உள்ளுறை கிரிஸ்டே மடிப்புக்களைக்கொண்டு காணப்படுவதைப் படம் 9.8-ல் காண்க. உள்ளுறையை அமைக்கும் இந்தச்சிறு அலகுகள் (Sub-units) தலைப்பகுதி, காம்புப்பகுதி, அடிப்பகுதி என மூன்று அங்கங்களைக்கொண்டிருத்தலை முன்னரே பார்த்தோம்.

எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தொடரில் பங்குகொள்ளும் நொதிகளும் இணைக்காரணிகளும், மேற்கண்ட சிறு அலகுகளின் அடிப்பகுதியில் அமைந்துள்ளன எனக் கண்டுபிடித்தனர். ஆக்ஸீகரண ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சியில் பங்குகொள்ளும் ATP யேஸ் போன்ற நொதிகள் தலைப்பகுதியில் (Head pieee) அமைந்துள்ளன என்பர்.

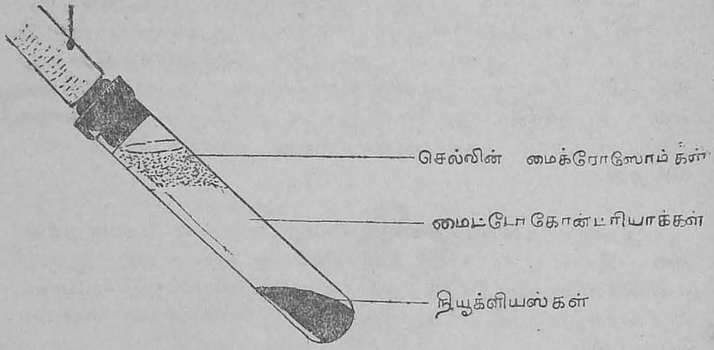
உள்ளுறையைக் கூறிட்ட ஆய்வுகளில், சிறிய மைட்டோ கோண்ட்ரியத் துகள்கள் (Sub mitochondrial particles) கிடைத்தன (படம் 9.1). இவை 50Å அளவுள்ள குமிழிகளாகத் தோன்றுகின்றன. இவற்றை சோனிக் ஆஸிலேஷன் (Sonic Oscillation) என்ற சுழற்சிக்குட்படுத்தினுல் இந்தக் குமிழிகளில் காணப்படும் தலைப் பகுதிகள் அடிப்பகுதியிலிருந்து துண்டிக்கப்பட்டு விடுகின்றன.

இதனுல் தலைப்பகுதிகள் இல்லாத காம்புகள் தோன்றுகின்றன. இவை ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியை நடத்துகின்றன. ஆனுல் ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் நிகழ்வதில்லை. எனவே, தலைப்பகுதிகள் ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்தை ஆக்ஸீகரணத்தோடு இணைக்கின்றன என்பது பெறப்படும்.

இங்ஙனம் வெளியுறையிலும், உருவ அமைப்போடு இணைந்த வினைகள் நிகழ்கின்றன.

அகோனிடேஸ் (Aconitase), ஐஸோ சிட்ரிக் டீஹைடிரோஜினேஸ் (Isocitric dehydrogenase), ஃப்யூமரேஸ் என்ற நொதிகள் வெளியுறையிலிருந்து எளிதில் கரைத்தெடுக்க முடியும். ஏனெனில் இவை லிபிடு பகுதிகளோடு சேராமலிருக்கின்றன. ஆனுல், பைருவிக் டீஹைடிரோஜினேஸ், ஆல்பா கீடோ குளுடாரிக் டீஹைடிரோஜினேஸ் போன்ற நொதிகள், உறைச் சவ்வின் லிபிடுகளோடு இணைந்திருப்பதால், கரைத்தெடுக்க முடியாது. எனவே இவற்றைச் சவ்வோடு இணைந்த அடிப்பகுதிக்கு ஒப்பிடுவர். முன் கண்ட நொதிகளை, இந்த அடிப் பகுதியின்மேல் பொருத்தப்பட்ட, தலைப்பகுதி போன்ற உருண்டைகள் என்றழைக்கின்றனர். இதனுல் வெளியுறையிலும் அடிப்பகுதியோடு பந்து கிண்ணத்தில் அமைந்ததைப்போல், தலைப்பகுதி உருண்டைகள் அமைந்துள்ளன என்பர்.

1920-ல் வார்பர்க் (Warburg) ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சிகள் மைட்டோகோண்ட்ரியாக்கள் காணப்படும் திசுக்களை அரைத்துக் கூழாக்கி, ஒரு நிமிடத்திற்குப் பலமுறை சுழலும் இயந்திரங்களான சென்ட்ரிப்யூஜுகளில் (Centrifuges) வைத்து, இயந்திரத்தை இயக்கினர். அந்தக் கூழில் அமைந்த செல்லின் பகுதிகள் தத்தம் பரிமாணத்திற்கேற்றபடி தனித்தனியாகப் பிரிகின்றன. படம் 9.9-ல் கண்டபடி நடுவிலுள்ள பகுதியில் மைட்டோகோண்ட்ரியாக்கள் காணப்பட்டன. வீழ்படிவாக அடியில் நின்ற பகுதியில் நியூக்ளியஸ் சம்பந்தப்பட்ட பொருள்கள் காணப்பட்டன.



படம் 9.9. மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் அமைப்பில் சக்திமாற்றம்

இங்ஙனம் பிரித்தெடுத்த மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களில், சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் நடைபெறும் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சிகள் நிகழ்வதை வார்பர்க் அறிந்தார்.

இதன் பின்னர் மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களின் திறனை ஆய்வதில் ஈடுபட்டவர்கள், அவைகளில் நிகழும் வேதியியல் மாற்றங்களில் மட்டுமே கவனத்தைச் செலுத்தினர். ஆனால் மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களின் உருவ அமைப்பைப்பற்றிய கருத்து அவர்களிடம் காணப்படவில்லை. ஓர் உறுப்பு ஆற்றும் வினை, அதன் உருவ அமைப்போடு இணைந்தது என்பதை அன்னார் அறியவில்லை போலும்!

ஆக்ஸீகரண ஃபாஸ்ஃபரீகரணமும் மைட்டோகோண்ட்ரியாவும்

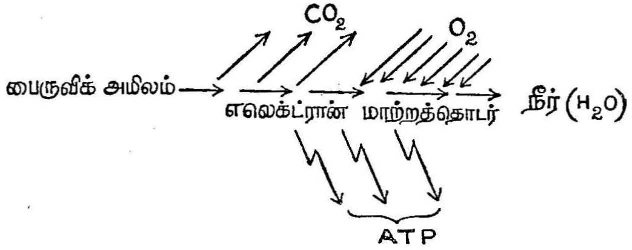
மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களில் பல சக்திமாற்றங்கள் நிகழ்கின்றன. ஆக்ஸீகரண-குறைத்தல் (Oxidation-reduction) நிகழ்ச்சிகளில் சக்தி வெளிப்படுகின்றது. இது ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சியில் பங்குகொண்டு, இணைவு சக்தி(Bond energy)யாகிறது. மேலும் இந்தச் சக்தி அயனி பரிமாற்ற(Ion-translocation)த்தில் பங்கு கொள்ளவும் செய்கிறது.

மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களில் மேற்கண்டவை நிகழ்வதெங்ஙனம் என்று காண்போம்.

மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் உள்ளுறை ஆக்ஸீகரண ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்தில் பங்குகொள்கின்றது என்று அறிந்தோம். உள்ளுறையின் சிறு அலகுகள் அமைந்த முறையையும் கண்டோம்.

உள்ளுறையின் அங்கங்களான இவை ஒன்றுடன் ஒன்று இணைந்தாற்போல் அமைந்துள்ளன. இந்த அலகுகளின் எண்ணிக்கை, ஒவ்வொரு மைட்டோகோண்ட்ரியாவிலும் 50,000 எனக் கருதுகின்றனர். மேற்கண்ட அலகுகளின் உறுப்புகளில் சக்தி மாற்றத்துக்குத் தேவைப்படும் எல்லா அம்சங்களும் காணப்படுகின்றன.

மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் தலையாய கிரியை ஆக்ஸீகரண ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் (Oxidative phosphorycation) எனப்படும். பைருவிக் அமிலத்தின் ஆக்ஸீகரணத்திலிருந்து துவங்கிய ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சிகளில், எலெக்ட்ரான்கள் வெளியேற்றப்படுகின்றன. அவை, ஓர் எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடர் வழியாகச் செல்லுகின்றன.



இந்த எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தொடர், ATP உற்பத்தியோடு இணைந்திருக்கிறது. எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தின்போது வெளிவரும் சக்தி, ATP-ஐ உற்பத்திசெய்யும் இணைவு ஆற்றலாகிறது. இங்கு ADP-ஐ, ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறுடன் இணைத்தலையே இணைப்பு ஆற்றல் அல்லது இணைவு சக்தி என்றழைத்தனர். இந்தக் கிரியைக்கு சக்தி தேவை என்பதும் இதனால் பெறப்படும், ATP-ஐ நீர் இணைத்தல் (Hydrolysis) மூலம் சிதைத்து ADP-யாகவும் ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக் கூறாகவும் பிரித்தல், அல்லது ADP-யுடன் ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறை இணைத்து ATP உண்டாக்குதல் போன்ற நிகழ்ச்சிகளில் ஈடுபடும் நொதிகள், உள்ளுறையின் அங்கங்களான தலைப்பகுதிகளில் (Head pieces) காணப்படுகின்றன. (அடிப்பகுதிகள் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சிகளில் பங்குகொள்வதை இங்கு நினைவு கூர்க). இவ்விரண்டின் இடையிலும் காணப்படும் காம்புப்பகுதி, தலைப்பகுதியையும், அடிப்பகுதியையும் இணைக்கும் பாலமாக அமைந்தது என்பர்.

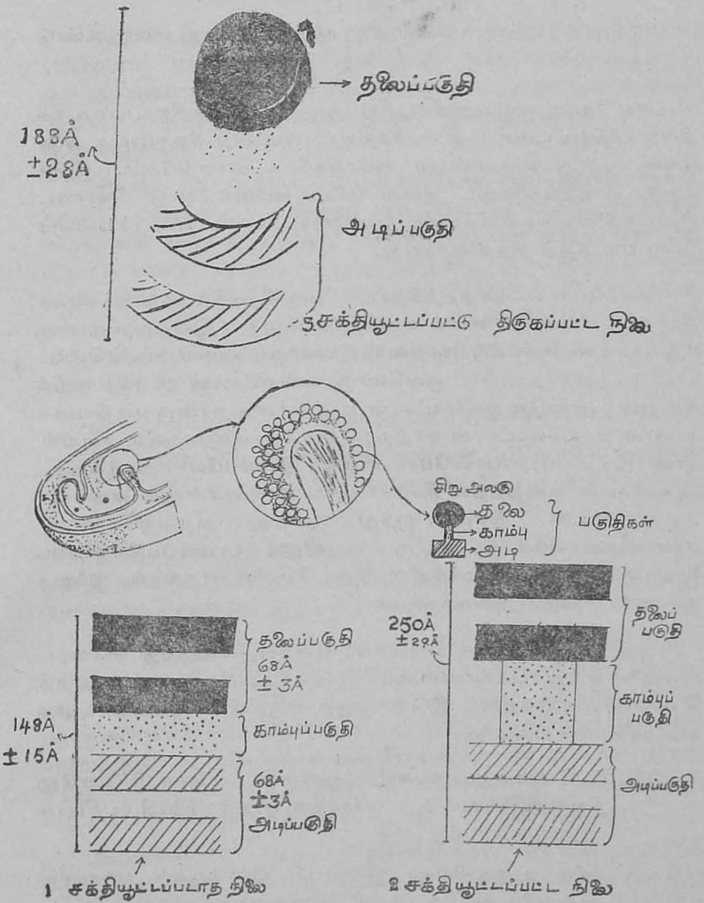
எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தின்போது வெளியாகும் சக்தி, இந்த அங்கங்களின் உருவ அமைப்பில் ஒரு மாற்றத்தை உண்டுபண்ணு கின்றது (Conformational change) என்கின்றனர்.

கான்பர்மேஷனல் மாற்றம் (Conformational change) அல்லது உரு மாற்றம்

ரப்பர் பட்டை அடையும் மாற்றத்தை, இதற்கு ஒப்பிடுகின்ற னர். சாதாரண நிலையிலுள்ள ரப்பர் பட்டையின் உருவ அமைப்பு, நீட்டப்படும் ரப்பர் பட்டையின் உருவ அமைப்பிலிருந்து வேறுபடு கிறது. சாதாரண நிலையிலிருந்த ரப்பர் பட்டையில், மூலக்கூறுகள் ஒழுங்கற்ற முறையில் ஒன்றின்மேல் ஒன்று அடுக்கப்பட்டிருக் கின்றன. அந்த ரப்பர் பட்டையை இழுத்து நீட்டும்போது, அதி லுள்ள மூலக்கூறுகள் ஒழுங்காக அடுக்கப்படுகின்றன. இதனால் அந்த ரப்பர்ப்பட்டையின் சுயேச்சை சக்தி அதிகமாகிறது. அதைக் கையினால் நீட்டிப் பிடித்துக்கொண்டிருக்கும் வரை அதனுடைய சக்தி அதில் தேங்கி நிற்கும். தேவையானால் அந்தச் சக்தியை உபயோகப்படுத்தலாம். இங்ஙனம் நீட்டிப் பிடித்த ரப்பர் பட்டை யின்மேல் சிறு கல்லொன்றை வைத்து, அந்தப் பட்டையை இழுத்துவிடும்போது, அந்தக் கல் வெகுதூரம் எறியப்படுவதைப் பார்த்திருக்கிறோம். நம் கையிலுள்ள சக்தி ரப்பர் பட்டைக்கு மாறிப் பின், கல்லின் இயங்கு சக்தியாகிறது. இங்கு மனிதனின் கைகளுக் கும், கல்லின் இயக்கத்திற்கும் இடையில் வினைபுரிவது ரப்பர் பட்டையாகும்.

அதைப்போலவே மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களும், ஆக்ஸி கரண நிகழ்ச்சிகளான எலெக்ட்ரான் மாற்றக் கிரியையில் வெளிப் படும் சக்தியை ஏற்று, தம் உருவ அமைப்பில் ஒரு மாற்றம் (Conformational change) அடைகின்றன. இதனால் சக்தியூட்டப் பட்டு, அந்தச் சக்தியைப் பயன்படுத்தி ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்தை நடத்துகின்றன. ரப்பர் பட்டையைப்போன்று வினைபுரியும் இவை, விரைவில் தம் சக்தியை இழப்பதில்லை.

மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் உள்ளுறையில் எத்தகைய உருவ மாற்றம் (Conformational change) நிகழ்கிறது என்று பார்ப்போம். எலெக்ட்ரான் மாற்றம் நிகழாத நிலையில், உள்ளுறையின் அங்கங் களான பகுதிகளின் அமைப்பில் வேற்றுமை காணப்படுகிறது. அச்சமயம் தலைப்பகுதியும், காம்புப்பகுதியும், அடிப் பகுதியின்மேல் படிந்து ஒரு கூட்டாகக் காணப்படுகின்றன. அப்போது அவை சக்தியூட்டப்படாத நிலையிலிருக்கின்றன. எலெக்ட்ரான் மாற்றம் நிகழும்போது காம்பும், தலைப்பகுதியும் நீண்டு அடிப்பகுதியி லிருந்து அகன்று விடுகின்றன படம் 9.9-ல் இந்த அமைப்பினைக் காண்க. இந்த நிலையில் ஃபாஸ்ஃபேட்டு, அந்தப் பகுதிகளை அணுகுவதாகக் கொள்வோம். உடனே தலைப்பகுதி அடிப்பகுதியி லிருந்து விடுபட்டுத் திருகிக்கொள்கிறது (Twisted) என்பர். அச் சமயம் தலைப்பகுதி கோள வடிவத்தைப் பெற்றிருக்கிறது. அடிப் பகுதியும் வளைந்து காணப்படுகிறது. (படம் 9.10).



படம் 9.10. எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தொடர்

ஸக்ஸி = ஸக்ஸினேட்

$NADH_2$ = நிகோடினமைட் அடினைன் டை நியூக்ளியோடைடின் குறைத்தல் அடைந்த நிலை

$NADPH_2$ = நிகோடினமைட் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைட் ஃபாஸ்ஃபேட்டின் குறைக்தல் அடைந்த நிலை. இது ஐஸோ ஸிட்ரேட் டீஹைடிரோஜினேஸின் இணைநொதியாக வினைபுரிகிறது.

கோக்யூ. = கோஎன்ஸைம் க்யூ

ஸை. சி. = ஸைடோகுரோம் சி.

ATP = அடினோசின் ட்ரைஃபாஸ்பேட்டு, காம்ப்ளெக்ஸ் I, காம்ப்ளெக்ஸ் III, காம்ப்ளெக்ஸ் IV போன்ற குழுக்கள் நிகழ்த்தும் எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தின்போது உற்பத்தியாகின்றது.

இந்த நிலையில் ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் நிகழ்கிறது என்று கண்டு பிடித்துள்ளனர்.

எனவே, உள்ளுறையின் சிறு அலகுகளில் சக்தியூட்டப்படாத நிலை, சக்தியூட்டப்பட்ட நிலை, சக்தியூட்டப்பட்டுத் திருகப்பட்ட நிலை யென மூன்று உருவமாற்ற அம்சங்களைக் காண்கிறோம். இந்த உருவ மாற்றங்களையும், அவை புரியும் வினைகளோடு கொண்ட தொடர்பினையும் கவனிக்கவும். எனவே உருவமும் வினையும் ஒன்றாக அமையும் திறன் தெளிவாகியது.

எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தொடர், பல நொதிக் கூட்டுக்களாக இருத்தல் வேண்டும் எனக் கருதப்படுகின்றது. இவற்றை நான்கு குழுக்களாகக் குறிப்பிடுகின்றனர். இவை ஒவ்வொன்றும், எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தொடரின் ஒவ்வொரு கண்ணியைக் (Link) குறிக்கின்றன. எனவே எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தை நான்கு பகுதியாகக் காணலாம். எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தொடர் உள்ளுறையின் சவ்வில் காணப்படும் புரத-பாஸ்போ லிபிடு அமைப்பில் நிகழ்கிறது. ஆக்ஸீகரண-குறைத்தல் நிகழ்ச்சிகளில் பங்குகொள்ளும் புரதங்கள் பலதரப்பட்டன. இவை ஐந்து அல்லது அதற்குமேற்பட்ட எண்ணிக்கையில் ஒவ்வொரு குழுவிலும் காணப்படுகின்றன. இத்தகைய நான்கு குழுக்களின் இடையே சில புரதங்கள், இணைக்கும் அம்சங்களாக அமைகின்றன.

முதற் குழுவிலுள்ள புரதங்கள், $NADH_2$-விலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை ஏற்றுக் கோஎன்சைம் க்யூ (Co-enzyme Q) என்ற புரதத்திற்கு மாற்றுகின்றன. இந்த முதற் பகுதியில் அமைந்த புரத வகைகள் பின்வருமாறு :

(1) ஃப்ளேவின் புரதங்களில் ஒன்றான ஃப்ளேவின் மோனோ நியூகிளியோடைடுடன் சேர்ந்த புரதம் (FMN or Flavin mononucleotide).

(2) ஹீம் உருவமில்லா இரும்புச் சேர்க்கைப் புரதமான நான் ஹீம் அயர்ன் புரதம் (Nonheme-iron Protein).

ஃப்ளேவின் புரதம், $NADH_2$-விலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை ஏற்கும் முதல் ஏற்பானாகிறது. இரண்டாம் பொருளாகக் குறிப்பிட்ட ஹீம் உருவமில்லா இரும்புப் புரதமும் இங்கு எலெக்ட்ரான்களை ஏற்பதாகக் குறிப்பிடுகின்றனர். இந்தப் புரதத்தின் இரும்புப் பகுதி ஹீம் அமைப்பில் இல்லையென்று கருதப்படுகின்றது. அங்கு இரும்பு, எவ்வகையில் புரதத்தோடு இணைந்திருக்கிறது என்பது தெளிவாகத் தெரியவில்லை.

ஆனால் ஆக்ஸிகரண-குறைத்தலில் ஈடுபடும் வேதி அலகு (Chemical unit) என்று குறிப்பிட்டு நிர்மாணிக்கக்கூடியவை ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட இரும்பு அணுக்கள் எனவும், அவை புரதத்திலுள்ள சல்பருடன் இணைந்துள்ளன எனவும் கூறுகின்றனர்.

இரண்டாம் பகுதியில் (படம் 9.11) ஸக்ஸினிக் அமிலம் ஆக்ஸிகரணம் அடைகிறது. இந்தப் பகுதியில் அமைந்த புரதங்கள் ஸக்ஸினிக் அமிலத்திலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை ஏற்று, கோ க்யூ (Co Q) என்ற நொதிக்கு மாற்றுகின்றன. எனவே முதல் பகுதியான NADH கோ க்யூ ரிடக்டேஸ் (NADH-CoQ-Reductase) அமைப்பிலும், இரண்டாம் பகுதியான ஸக்ஸினிக் கோ க்யூ ரிடக்டஸ் (Succinic-CoQ-reductase) என்ற அமைப்பிலும், கோ க்யூ காணப்படுகிறது.

இரண்டாம் பகுதியில் அமைந்த புரத வகைகள் பின்வருமாறு :

(1) ஃப்ளேவின் புரதங்களில் ஒன்றான ஃப்ளேவின் அடினைன் டைநியூக்ளியோடைடுடன் சேர்ந்த புரதம் (Flavin adenine dinucleotide or FAD).

(2) ஹீம் உருவமில்லா இரும்புச் சேர்க்கைப் புரதங்களில் ஒன்று காணப்படுகிறது. எனவே ஹீம் உருவமில்லா இரும்புச் சேர்க்கைப் புரதங்கள் இரு பகுதிகளிலும் காணப்படுகின்றன.

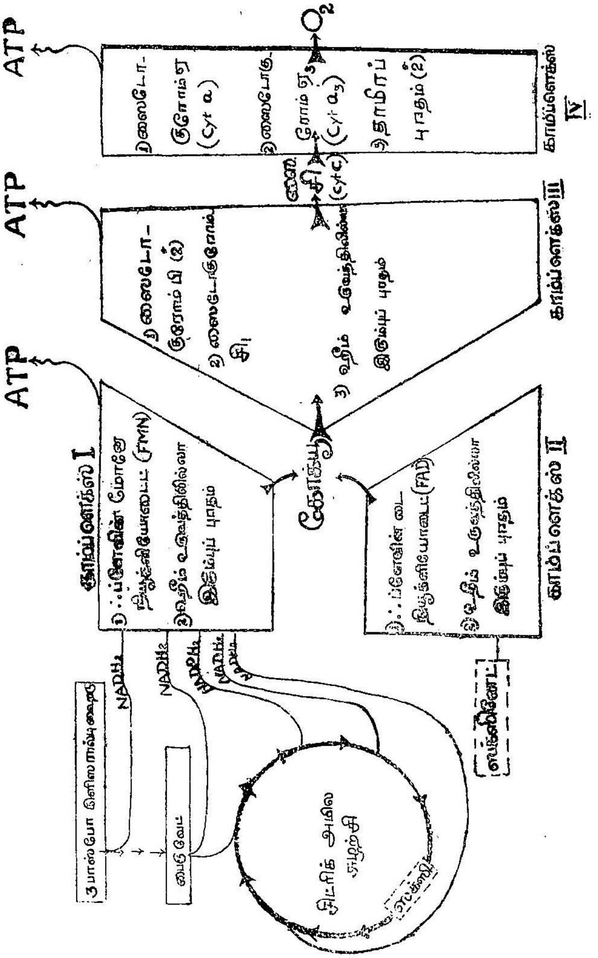
கோ க்யூ என்ற நொதியை யூபிக்வினோன் (Ubiquinone) என்றும் அழைப்பர். இதில் க்வினோன் பகுதி காணப்படுகிறது. இந்த க்வினோன் பகுதியின் பக்கத் தொடராகப் பல ஐஸோப்ரீன் அலகுகளைக்கொண்ட தொடர் ஒன்று இணைந்துள்ளது. க்வினோன் ஹைடிரஜனை ஏற்பதனால் ஹைடிரோக்வினோனாக மாற்றம் அடைகிறது. இங்ஙனம் ஏற்றுக்கொண்ட எலெக்ட்ரான்களை வேறொரு பொருளுக்கு மாற்றும் தன்மையை இது பெற்றிருக்கின்றது.

மேற்கண்டபடி, இரு பகுதிகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை ஏற்ற கோ க்யூ, மூன்றாம் பகுதிக்கு எலெக்ட்ரான்களை மாற்றுகின்றது. மூன்றாம் பகுதியின் அமைப்பு 'குறைத்தல் அடைந்த கோ க்யூ-ஸைடோகுரோம் ரிடக்டேஸ்' (Reduced CoQ-cytochrome C-reductase) என்றழைக்கப்படும். இந்த அமைப்பில் காணப்படும் புரத வகைகள் பின்வருமாறு :

(1) ஸைடோகுரோம் பி (Cytochrome b)

(2) ஸைடோகுரோம் ஸி$_1$ (Cytochrome c_1)

(3) ஹீம் உருவமில்லா இரும்புச் சேர்க்கைப் புரத வகைகளில் ஒன்று.



படம் 9.11. வளர்சிதை மாற்றங்களில் ATP

ஒளிச்சேர்க்கையில் உணவுப் பொருள்கள் உற்பத்தியாகின்றன.

1. *பசுங் கணிகத்தில் கார்பன் நிலைப்பாடு நிகழ்கிறது. ஓரளவு ஒளிக் கிரியையிலும் ATP (அடினேசின் ட்ரை ஃபாஸ்ஃபேட்டு) உற்பத்தியாகின்றது. ATP-யின் சக்தி வளர்மாற்றங்களில் தேவைப்படுகிறது. ஒளிச் சேர்க்கையால் கார்போ ஹைடிரேட்டு வகையைச் சேர்ந்த தரசம் மட்டுமின்றி, கொழுப்பும் (லிபிடு) அமினோ அமிலங்களும் தயாராகின்றன. மேலும் DNA இருப்பதால் புரதச் சேர்க்கையும் நிகழ்வதாகக் கூறுகின்றனர்.*

2. *உணவுப் பொருள்களின் சிதைமாற்றங்கள் மைட்டோகோண்ட்ரியாவில் நிகழ்கின்றன. இந்த மாற்றங்களை சிட்ரிக் அமில சுழற்சியின் மாற்றங்கள் எனலாம். இதனால் அங்ககப் பொருள்கள் அனைத்தும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாகவும் நீராகவும் சிதைவுறுகின்றன. இந்த சிதைமாற்றங்களில் வெளிப்படும் ஏராளமான சக்தியின் பெரும் பகுதி ATP என்ற பொருளின் சேர்க்கையில் சேமிக்கப்படுகிறது. இதற்கு ADP-யும், (P) ஃபாஸ்ஃபேட்டும் தேவைப்படுகின்றன.*

இவை கோஎன்ஸைம் க்யூ விலிருந்து ஏற்றுக்கொண்ட எலெக்ட்ரான்களை ஸைடோகுரோம் ஸி-க்கு (Cytochrome C) மாற்றுகின்றன. இதனால்தான் இந்த அமைப்பினைக் "குறைத்தல் அடைந்த கோ க்யூ-ஸைடோகுரோம் ஸி ரிடக்டேஸ்" என்றழைத்தனர்.

ஸைடோகுரோம் ஸி எலெக்ட்ரான்களை ஏற்பதால் குறைத்தல் அடைகின்றது.

நான்காம் பகுதி "ஸைடோகுரோம் ஆக்ஸிடேஸ்" என்ற அமைப்பாகும். இந்த அமைப்பில் காணப்படும் புரதங்கள், ஸைடோகுரோம் ஸி யிலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை ஏற்று ஆக்ஸிஜனுக்கு மாற்றுகின்றன.

இங்குள்ள புரதங்கள் பின்வருமாறு:

(1) ஸைடோகுரோம் ஏ (Cytochrome a)

(2) ஸைடோகுரோம் $ஏ_3$ (Cytochrome a_3)

(3) தாமிர சேர்க்கைப் புரதம் (Copper Containing protein).

ஹீம் உருவமில்லா இரும்புச் சேர்க்கைப் புரதத்தைப் போலவே தாமிரச் சேர்க்கைப் புரதமான இதில் உலோகம் அமைந்த அமைப்பினைத் தெளிவாக அறிய முடியவில்லை.

ஒரு ஜதை எலெக்ட்ரான்கள் $NADH_2$-விலிருந்து எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடர் வழியாகச் சென்று ஆக்ஸிஜனை அடைகின்றன. அப்போது மூன்று ATP மூலக் கூறுகள் உண்டாகின்றன. ஒரு மூலக்கூறு ADP-யுடன், ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறு ஒன்று இணைவதால், ஒரு ATP மூலக்கூறு உற்பத்தியாகின்றது.

எனவே 3 ATP மூலக்கூறுகள் உற்பத்தியாவதைக் கீழ்வரும் சமன் பாட்டில் குறிக்கலாம்.

3 ADP + 3 (P) ———→ 3 ATP

எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரில், படம் 9.10-ல் கண்டபடி ATP-யை உற்பத்திசெய்யும் பகுதிகள் மூன்றுகின்றன. இவை முதற் பகுதி, மூன்றும் பகுதி, நான்காம் பகுதி எனப்படுகின்றன. இதில் இரண்டாம் பகுதியான 'ஸக்ஸினிக் கோ க்யூ-ரிடக்டேஸ்' அமைப்பு பங்குகொள்ளவில்லையென்று தெரிகிறது. இந்த அமைப்பு எலெக்ட்ரான்களை மூன்றும் பகுதிக்குக் கடத்தும் பணியை மட்டும் மேற்கொள்ளுகின்றது. எனவே இப் பகுதியில் நிகழும் எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தின்போது ATP உற்பத்தியாவதில்லை.

இங்ஙனம் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சிகளில் ATP உற்பத்தியாவதை ஆக்ஸீகரண ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் என்றழைக்கின்றனர். ஒளிச்சேர்க்கையின்போது நிகழும் ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்திலிருந்து ஆக்ஸீகரண ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் (Oxidative phosphorycation) வேறுபடுகிறது. ஆனால் இவ்விரு நிகழ்ச்சிகளிலும் எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடர் காணப்படுகின்றது. ஒளிச் சேர்க்கையில் ஒளியின் உதவியால் ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் நிகழ்கிறது, சுவாசித்தலில் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சிகளின் உதவியால் ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் நிகழ்கின்றது. (படம் 9.12).

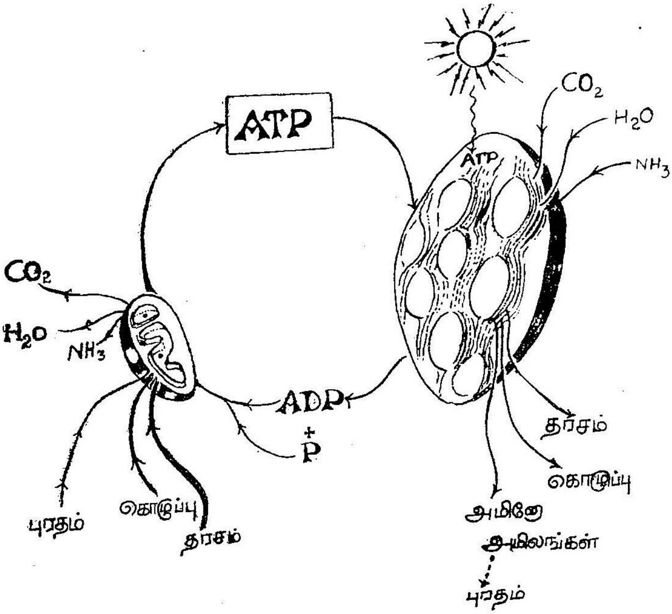
எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தினுல் சக்தியூட்டப்பட்ட நிலை ஏற்படுகிறது; இதனுல் ATP உற்பத்திசெய்யப்படுகிறது என்று முன்னரே கண்டோம்.

இங்ஙனம் சக்தியூட்டப்பட்ட நிலையைப்பற்றிப் பல கோட்பாடுகள் இருந்து வருகின்றன. அவற்றில் சிலவற்றைக் காண்போம்.

உயர்சக்தி வாய்ந்த இடைப்பொருள் கோட்பாடு

பல ஆண்டுகளாக, உயர்சக்தி வாய்ந்த இடைப் பொருள்கள் உண்டாவதாகவும், இவை ஃபாஸ்ஃபேட்டை முதற்கண் ஏற்றுப் பின்னர் ADP-ஐ ஃபாஸ்ஃபேட்டுடன் இணைப்பதாகவும் கூறினர். ஆனால் அத்தகைய உயர்சக்தி வாய்ந்த இடைப்பொருளைப் பிரித்தெடுக்கவில்லை.

பிராடி (Brodie), கிரிபித்ஸ் (Griffiths) என்பவர்கள் இத்தகைய கருத்துடையவர்கள். இவர்கள் சக்தியூட்டப்பட்ட இடைப் பொருள்



படம் 9.12.

களைப் பிரித்தெடுக்கும் முயற்சியில் ஈடுபட்டனர். ஆனால் அவர்கள் பிரித்தெடுத்தவற்றை அத்தகைய சக்தியூட்டப்பட்ட இடைப் பொருள்களாகக் கொள்வதற்கில்லை.

பீட்டர் மிட்செல்லின் (Peter Mitchel) கோட்பாடு

இவர் கருத்துப்படி, எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடருக்கும், ATP உற்பத்திசெய்யும் ATP-யேஸ் (ATP-ase) அமைப்பிற்கும் இடையே ஒரு சமநிலை இருக்கவேண்டும் என்பதாகும்.

இங்கு மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் சவ்வுகளில் சக்தியூட்டப்படும் நிலை ஏற்படுகிறது என்று கருதினார். இது ‘புரோட்டான் தூண்டு சக்தி’ எனப்படுகிறது. மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் சவ்விற்கு உள்ளும் புறமும் உள்ள புரோட்டான்களின் வேறுபட்ட செரிவினால் இது உண்டாகிறது எனக் கருதினார். இவர் தனித்த

இடைப்பொருள் ஒன்றைக் குறிப்பிடாமல், சக்தியூட்டப்படும் பொருள் மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் சவ்வே எனக் கூறியது, இந்தக் கோட்பாடின் முக்கிய அம்சமாகும். எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தினால் சக்திமாற்றம் அடையும் உள்ளுறையின் அமைப்பினை அவர் அறியவில்லையாயினும், மேற்கண்ட கோட்பாட்டில், உருவத்தை ஃபாஸ்ஃபரிகரண வினையோடு இணைத்ததை இங்கு சிறப்பாகக் கருத வேண்டும்.

இங்ஙனம் சக்தியூட்டப்பட்டு நிகழும் நிகழ்ச்சிகளைப் பின்வரும் சமன்பாடுகளில் குறிப்பிட்டார்.

கிரியை 1

குறைப்பான் + ஆக்ஸீகரணமடைந்த சக்தியூட்டப்படாத எலெக்ட்ரான் தொடர் ⇄ ஆக்ஸீகரணி + குறைந்து சக்தியூட்டப்பட்ட எலெக்ட்ரான் தொடர்

இந்தக் கிரியையில் எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடர் ஒரு குறைப்பானால் குறைக்கப்படுகிறது அல்லது எலெக்ட்ரான்களை ஏற்கின்றது. இங்ஙனம், குறைத்தல் அடைந்த எலெக்ட்ரான் தொடர் சக்தி யூட்டப்பட்ட நிலையினைப் பெறுகின்றது. முதலில் குறைப்பானாக வினைபுரிந்து, எலெக்ட்ரான்களைக் கடத்திய பொருள் ஆக்ஸீகரணியாக மாறியது.

கிரியை 2

குறைத்தல் அடைந்த சக்தியூட்டப்பட்ட எலெக்ட்ரான்—தொடர் + சக்தியூட்டப்படாத ATP-யேஸ் அமைப்பு ⇄ குறைத்தல் அடைந்த சக்தியை இழந்த எலெக்ட்ரான் தொடர் + சக்தியூட்டப்பட்ட ATP-யேஸ் அமைப்பு.

இந்தக் கிரியையில் சக்தியூட்டப்பட்ட எலெக்ட்ரான் தொடர் அந்தச் சக்தியை ATP-யேஸ் அமைப்பிற்கு மாற்றுகிறது.

கிரியை 3

சக்தியூட்டப்பட்ட ATP-யேஸ் கூட்டு + Pi + ADP ⇄ சக்தியை இழந்த ATP-யேஸ் கூட்டு + ATP

இங்கு (Pi = ஃபாஸ்ஃபேட்டு) ஆகிறது.

மைட்டோகோண்ட்ரியாவின் உள்ளுறையில் எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தின்போது ஏற்படும் உருவ அமைப்பு மாற்றத்தில் (Conformational change) ஏராளமான சக்தி உண்டாகின்றது

என்று முன்னரே கண்டோம். இந்தச் சக்தியின் உதவியால் ATP உற்பத்தியின் ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சி நடைபெறுகின்றது.

ஒரு ஜதை எலெக்ட்ரான்களின் மாற்றத்தில் 3 ATP மூலக் கூறுகள் உண்டாகின்றன. எனவே முன் குறித்த எண்ணிக்கையின்படி காற்றுள்ள சுவாசத்தில் (Aerobic Respiration) 12 ஜதை எலெக்ட்ரான்கள் குளுகோஸிலிருந்து கடத்தப்படுகின்றன. இவற்றில் 10 ஜதை எலெக்ட்ரான்கள் NAD புரதத்தின் வழியாக எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரை அணுகுகின்றன. 2 ஜதை எலெக்ட்ரான்கள் ஸக்ஸினிக் அமில மூலக் கூறுகளின் வழியாக எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரை அணுகுகின்றன. முன்கண்ட பாதையில் ஜதைக்கு மூன்று ATP மூலக் கூறுகள் உற்பத்தியாகின்றன எனக் கொண்டால், மொத்தம் 30 ATP மூலக் கூறுகள் உற்பத்தியாகின்றன. ஸக்ஸினிக் அமிலத்தின் வழியாகச் செல்லும் இரு ஜதை எலெக்ட்ரான்கள் மொத்தம் 4 ATP மூலக் கூறுகளை உற்பத்திசெய்ய வழிகோலுகின்றன. க்ளைகாலிஸிஸின்போது இறுதியாக இரு ATP மூலக்கூறுகள் உற்பத்தியாகின்றன என்று கண்டோம். மேலும் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியின்போது ஒரு ஸக்ஸினிக் அமில மூலக்கூறு தோன்றும் கிரியையில் ஒரு GTP மூலக்கூறு உண்டாகின்றது எனக் கண்டோம். எனவே இரு ஸக்ஸினிக் அமில மூலக்கூறுகள் தோன்றும்போது 2 GTP மூலக்கூறுகள் தோன்றுகின்றன. ATP-ஐப் போன்று இவையும் சக்திவாய்ந்த கூட்டுப் பொருள்களின் வகையைச் சேர்ந்தவை. எனவே இவற்றையும் சேர்த்து மொத்தம் 38 ATP மூலக்கூறுகள் ஒரு குளுகோஸ் மூலக்கூறின் சிதைவில் உண்டாகின்றன என்று கணக்கிட்டுள்ளனர்.

ஏறத்தாழ ஒரு ATP மூலக்கூறில் 10,000 கலோரி சக்தி சேமிக்கப்படுகிறது என்று கொண்டால், குளுகோஸ் மூலக்கூறு ஒன்றின் சிதைவில் வெளிப்படும் 690,000 கலோரி சக்தியில் 380,000 (38 ATP × 10,000) கலோரி சக்தி சேமிக்கப்படுகிறது. இந்தத் திறனை 55 சத வீதம் எனக் கணக்கிடலாம். இதனை மிக வேகமாக இயங்கக்கூடிய ரயில் வண்டிகளோடு சீர்தூக்கிப் பார்க்கையில், அவை மேற்கண்ட மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களின் சக்தி சேமிப்புத் திறத்தில் மிகவும் பின்னிட்டுப் போகின்றன. தாவர செல் ஒன்று 1 மில்லி மீட்டர் அளவைவிட சிறியது எனவே இதனை மைக்ரான் அலகுகளால் அளக்கின்றனர். அவைகளினுள் மைட்டோகோண்ட்ரியாக்கள் காணப்படுகின்றன. செல்லின் கொள்ளளவில் அவை மிக நுண்ணிய துகள்களாகும். ஆனால் இவை மிக நுண்ணிய தற்கால கம்ப்யூட்டர்களின் திறனை மிஞ்சுகின்றன உயிர் இயங்கும் அமைப்பின் நுணுக்கம்தான் என்னே!

10. சுவாசமானிகள் (Respirometers)

தாவர வாழ்க்கையில் பல உயிர்வேதியியல் கிரியைகள் நிகழ்கின்றன. ஒவ்வோர் உயிருள்ள செல்லும் மேற்கண்ட மாற்றங்களில் ஈடுபடுகின்றன. ஒவ்வொன்றும் மிகச் சிக்கலானது. ஆனால் பௌதிக வேதியியல் மாற்றங்களைப்போலில்லாமல் உயிர் பௌதிக வேதியியல் மாற்றங்கள் ஒன்ரேடு'ஒன்று பிணைக்கப்பட்டு, ஒன்றை ஒன்று தடை செய்யாமல் மிகச் சீரிய ஒழுங்கமைப்புடன் நடைபெறுகின்றன. இத்தகைய நிகழ்ச்சிகள் ஒரு செல் உயிரிகளிலிருந்து பல செல்களடங்கிய திசுத் தொகுப்புகளில்கூட ஒரே சீரமைப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன. மேற்கண்ட உயிர்வேதியியல் மாற்றங்களில், சுவாசித்தல் என்னும் நிகழ்ச்சி பலவரையும் கவர்வதாகும். ஏனெனில் உயிரியக்கம் இருக்கவேண்டுமானல் அது சுவாசித்தலில் தான் நிலைக்கிறது என அறிவோம். உயிரின் ஆக்கத்திற்கும் உயிரின் இயக்கத்திற்கும் சக்தியை அளிப்பது சுவாசித்தலே அதாவது ஆக்ஸிஜனை உட்கொண்டு கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை வெளிவிடுதல். இதனை அளப்பதுதான் சுவாசமானி (Respirometer).

இதற்கு உபயோகிக்கின்ற கருவியினை மேனேமீட்டர் (Manometer) என்றும் அழைப்பர். சுவாசத்தில் நிகழும் வாயு பரிமாற்றத்தை மட்டும் அளக்காமல் பல நொதிக் கிரியைகளில் வெளிவரும் வாயுக்களையும் அளவிட்டு இதன்மூலம் நிச்சயிக்கலாம்.

கே ல்யூஸேக் (Gay-Lussac) விதியைப் பின்பற்றி வாயுவின் அழுத்த மாற்றங்களைப் பின்வரும் சூத்திரத்தின்மூலம் கணிக்கலாம்.

$$\frac{P_iV_i}{T_i} = \frac{P_fV_f}{T_i}$$

இங்கு P-அழுத்தத்தைக் குறிக்கும், V-கொள்ளளவைக் குறிக்கும், T-வெப்ப நிலையைக் குறிக்கும், i-முதல் நிலையைக் குறிக்கும், f-இறுதி நிலையைக் குறிக்கும்.

இந்த சூத்திரத்திஞல் பெறப்படுவது என்னவென்ருல், கொள் ளளவையும், (V) வெப்ப நிலையையும் (T) நிலேத்த தன்மையில் வைத்திருந்தால், வாயு அதிகமாகும்போது, அழுத்தமும் அதிக மாகிறது என்பதாம்.

வார்பர்க் கருவி (Warburg apparatus)

இது ஒருவகை மேஞேமீட்டர் அல்லது சுவாசமானி எனலாம். இதஞல் வாயுவின் அழுத்தத்தை ஒரே கொள்ளளவிலும் வெப்ப நிலேயிலும் கணக்கிடலாம். இந்தக் கருவி பல உறுப்புகளேக் கொண் டிருக்கிறது.

1) நிலேத்த வெப்ப நிலேயிலுள்ள நீர்கொண்ட பாத்திரம்.

2) கிரியைக் குடுவை (Reaction flask)

3) மேஞேமீட்டர் அல்லது சுவாசமானியின் 'U' குழல்

முதன் முதலில் (1890-ல்) ஹேல்டேன் (Haldane) தாம் அகற்றிய ஆக்ஸிஜன் வாயுவை அளப்பதற்கு, வாயு ப்யூரெட்டுகளே உபயோகித்துப் பெரிதும் சிரமப்பட்டார். எனவே கிரியை நிகழும் இடத்திலேயே அந்தக் கிரியையில் வெளிவரும் வாயுவை அளப் பதற்கு ஒரு கருவியைத் தோற்றுவிக்க வேண்டிய தேவை ஏற்பட்டது.

1902-ல் இன்று நாம் அறிந்துள்ள வார்பர்க் கருவியின் முதல் உருவம் தோற்றுவிக்கப் பெற்றது.

1912-ல் அது மேலும் பல மாற்றங்களே அடைந்தது. முன்னர் இதனே இரத்தத்தில் ஏற்படும் வாயு மாற்றங்களேக் கண்டறிய மட்டும் உபயோகித்தனர். ஆஞல் 1912-ல் ஜெர்மானிய உயிர் வேதியியல் வல்லுநரான ஓட்டோ வார்பர்க் (Otto Warburg) இந்தக் கருவியை சுவாசித்தல், நொதித்தல், ஒளிச்சேர்க்கை போன்ற பல உயிர்வேதியியல் ஆய்வுகளில் உபயோகித்தார். அப்போது இந்தக் கருவியில் பல சீர்திருத்தங்களேச் செய்தார். இதஞல் இன்று இந்தக் கருவி அவருடைய பெயரைக்கொண்டு துலங்குகிறது.

வட்ட வடிவ உருளே அமைப்பில் உள்ள இது பல சுவாசமானி களேயும், அவற்ருேடு இணேந்த கிரியைக் குடுவைகளேயும் ஒரே சமயத்தில் செயல்படச் செய்யும் வகையில் அமைந்துள்ளது. குடுவைகள் பல சிறப்பு அமைப்புகளேப் பெற்றிருக்கலாம். அது கிரியைகளுக்குத் தக்கபடி வேறுபடுகின்றது. பொதுவாகக் குடுவைப் பகுதியின் நடுவில் ஒரு கிணறுபோன்ற அமைப்பு காணப்

படுகின்றது. இதில் பொட்டாசியம் ஹைடிராக்ஸைடு வைக்கப் படலாம். இது கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை உறிஞ்சிக் கொள்ளும். குடுவையின் பக்கவாட்டில் பல கிளைக் குடுவைகள் இருக்கலாம். இவைகள் தேவையான பொருள்களைச் சேர்ப்பதற்கு உதவு கின்றன. இவை யனைத்தின் கொள்ளளவு நிச்சயிக்கப்பட வேண்டும்.

சுவாசமானியின் 'U' குழலில் ப்ராடி கரைசல் அல்லது திரவம் (Brodie's fluid) காணப்படுகிறது. இதன் மட்டத்தை முதலில் சரி செய்யவேண்டும். பின்னர் கிரியையினல் வாயுவின் அழுத்தம் வேறுபடுவதால் மட்டம் உயரும் அல்லது தாழ்ந்துவிடும். குடுவை யின் மொத்தக் கொள்ளளவும் வெப்ப நிலையும் தெரிந்திருப் பதினல் வாயுவின் அளவை வாயுவின் முன்கண்ட விதிப்படி கணக் கிடலாம்.

11. நைட்ரஜனின் வளர்சிதை மாற்றம்

காற்றில் 80 சத வீதம் நைட்ரஜன் வாயு காணப்படுகிறது. தாவரங்களுடைய செல்களிலும் நைட்ரஜன் கூட்டுப் பொருள்களே ஏராளமாகக் காணப்படுகின்றன, ஆனால் காற்றிலுள்ள நைட்ர ஜனைத் தாவரங்கள் நேரிடையாக உட்கொள்வதில்லை. இதற்கு நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு நிகழவேண்டும். எந்த உருவில் நைட்ரஜன் தாவரங்களுக்குக் உபயோகப்படுகின்றது என்று காண்போம்.

பெரும்பாலும் நிலமே தாவரங்களுக்குத் தேவையான நைட்ர ஜன் தாதுக்களை வழங்குகிறது. இதனைப் பலவகைகளாகப் பிரிக் கலாம். அவற்றில் நைட்ரேட்டுகள் (Nitrates), நைட்ரைட்டுகள் (Nitrites), அம்மோனியா (Ammonia) போன்றவை குறிப்பிடத் தக்கவை. சில தாவரங்கள் அங்ககக் கூட்டுப் பொருள்களின் உருவில் காணப்படும் நைட்ரஜனையும், வேறு சில, நைட்ரஜன் வாயுவையும் உபயோகிக்கவல்லன. நைட்ரேட்டு, அம்மோனியா, அங்கக நைட்ரஜன் கூட்டுப் பொருள்கள், நைட்ரஜன் வாயு போன்ற நான்கு அமைப்பினையும் ஏற்கும் திறன் ஒருசில பாக்டீரி யாக்களிலும், ஆல்ஜி பாசிகளிலும்தான் காணப்படுகின்றது. உயர் தாவரங்கள் பெரும்பாலும் நைட்ரேட்டை அம்மோனியா அல்லது அங்ககக் கூட்டுப் பொருள்களில் காணப்படும் நைட்ரஜனை உட்கொள்ளுகின்றன.

பூமியிலிருந்து கிடைக்கும் நைட்ரேட் தாதுக்களைக் குறைத்து நைட்ரேட் உருவிற்குத் தாவரங்கள் மாற்றுகின்றன. சோயாபீன் என்ற அவரை யினத்தில் நைட்ரேட்டுகளைக் குறைக்கும் நொதி ஒன்று பிரித்தெடுக்கப்பட்டது. இதனை நைட்ரேட் ரிடக்டேஸ் (Nitrate reductase) என்றழைக்கின்றனர். நைட்ரேட் ($No^{-}{}_{3}$) நைட்ரேட் ($No^{-}{}_{2}$) உருவிற்கு மாற்றப்படுவதற்கு இரு எலெக்ட் ரான்கள் தேவைப்படுகின்றன. நைட்ரைட் ($No^{-}{}_{2}$) மேலும் குறைத்தல் அடைந்து அம்மோனியா தோன்றவேண்டும். இதற்கு

நைட்ரேட் ரிடக்டேஸ் (Nitrate reductase) என்ற நொதி தேவைப் படுகின்றது. முன்னர் கண்டதைப்போலவே, நைட்ரைடின் குறைத்தல் கிரியைக்கு ஊக்கியாகும் நைட்ரைட் ரிடக்டேஸ் சோயாபீன் இலைகளில் காணப்பட்டன. நியூரோஸ்போரா (Newrospara) என்ற பூஞ்சையிலும் இது காணப்படுகிறது. நைட்ரைட் குறைத்தல் அடைந்து முதலில் ஹைபோநைட்ரைட்டைத் தோற்று விக்கின்றது. ஃப்ரியர் (Freer), வெர்ஹோவென் (Verhoeven) என்றவர்களின் ஆய்வுகளில், ஹைபோநைட்ரைட் எங்ஙனம் நைட்ரைட் குறைத்தலில் ஓர் இடைப்பொருளாகின்றது என தெள்ளத் தெளிவாக்கினர். ஹைபோநைட்ரைட் பெரும்பாலும் தாவரங் களில் எளிதில் கண்டுபிடிக்கப்படாததால் ஹைபோநைட்ரைட் உண்டாகிறதோ இல்லையோ என்ற ஐயம் இருந்தது. மேற்சொன்ன அறிஞர்கள் கதிரியக்க ஹைபோநைட்ரைட்டைத் தாவரங்களுக்கு அளித்து நிகழ்த்திய பரிசோதனைகளில் அது விரைவில் அம்மோனி யாவாக மாற்றப்படுதலை அறிந்தனர். ஹைபோநைட்ரைட் பல பொருள்களாக மாறும் தன்மைகொண்டிருப்பதால் அது எளிதில் ஹைபோநைட்ரைட் உருவில் தென்படுவதில்லை என முடிவாகக் கருதினர்.

ஹைடிராக்ஸில் அமைன் (Hydroxyl amine) இறுதியாக வரும் இடைப்பொருள் என்று கருதுகின்றனர். எனவே பின்வரும் முறையில் நைட்ரேட் அம்மோனியாவாக மாறுகிறது என அறியலாம்.

நைட்ரேட்டு → நைட்ரைட்டு → ஹைபோநைட்ரைட்டு → ஹைடிராக் ஸில் அமைன் → அம்மோனியா

ஹைடிராக்ஸில் அமைனிலுள்ள நைட்ரஜன் அம்மோனியா உருவை அடையுமுன்னர் வேறுசில அங்ககப் பொருள்களாக மாற லாம் என்பதைப் பின்னர் காணலாம்.

தாவரங்கள் ஏற்றுக்கொண்ட உப்புகள் அம்மோனியா உருவிற்குத்தான் மாற்றப்படவேண்டும் என்று இன்னும் நிச்சயிக் கப்படவில்லை. மேற்கண்ட இடைப் பொருள்கள் தாவரங்களில் காணப்படுவதால் ஓரளவிற்கு அவை மேற்கண்ட முறையில் மாற் றங்கள் அடைந்து முடிவில் அம்மோனியா உருவிற்கு மாற்றப் படலாம் என்று கருதுகின்றனர்.

அங்கக உருவில் ஏற்றுக்கொள்ளப்படும் நைட்ரஜன் அமினோ அமிலங்களாகவும் அல்லது அமைடுகளாகவும் காணப்படலாம். தாவரங்களுக்கு உரமிடுகையில் யூரியா (Urea) என்ற பொருளை உபயோகித்தலை நாம் அறிவோம். இது நைட்ரஜன் கூட்டுப்

பொருளாகும். மேலும் இது நைட்ரஜனைத் தாவரங்களுக்கு அளிப்பதில் சிறந்ததொன்றாகக் கருதப்படுகின்றது. பூமியில் காணப்படும் மட்கில் புரதங்கள் இருக்கலாம். இவை சிதைவுற்று அமினோ அமிலங்கள் தோன்றுகின்றன. அமினோ அமிலங்கள் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுவதால் அம்மோனியம் தோன்றுகின்றது. இது நைட்ரேட்டாக மாற்றப்பட்டுத் தாவரங்களால் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. ஆனால் சில அமினோ அமிலங்களைச் சிதைக்காமலேயே ஏற்றுக்கொள்ளலாம்.

அமினோ அமிலங்கள் எனப்படுபவை, கார்பாக்ஸில் அமிலங்கள் அமினோ (NH_2) பகுதியை ஏற்ற அமைப்பைக் குறிக்கின்றன. சான்றாக கிளைஸைன் என்ற அமினோ அமிலம் கீழ்வரும் அமைப்பினைக் கொண்டிருக்கிறது.

$$\begin{array}{c} \mathrm{H} \\ | \\ \mathrm{H{-}C{-}COOH} \\ | \\ \mathrm{NH_2} \end{array}$$

படம் 11.1. அமினோ அமிலம் (க்ளைஸைன்)

ஒயிட் (White) என்பவர் துண்டிக்கப்பட்ட வேர்களில் பல ஆய்வுகளை நிகழ்த்தியவர். சாரேற்றத்தில் வேரின் பங்கினை எடுத்துக் காட்டியவர். தக்காளியின் வேர்களைத்தான் அவர் உபயோகித்தார். வேர்கள் அமினோ அமிலங்களை உட்கொள்ளுகின்றன என்று அவர் காண்பித்தார்.

யூரியா இரு அமினோ பகுதிகளைக்கொண்ட ஒரு அமைப்பாகும்.

$$\mathrm{NH_2{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}{-}NH_2}$$

இலைகளின்மேல் தூவிய யூரியாவை இலைத் திசுக்கள் ஏற்கின்றன என்றும், இது தாவரங்களின் நைட்ரஜன் பற்றாக் குறையை விரைவில் ஈடுசெய்கிறது எனவும் கண்டனர். தாவரம், ஏற்றுக் கொண்ட யூரியாவை விரைவில் அம்மோனியாகவும், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாகவும் சிதைக்கின்றது.

$$\mathrm{NH_2{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}{-}NH_2} \xrightarrow{\text{யூரியேஸ்}} 2\,\mathrm{NH_3} + \mathrm{Co_2}$$

அம்மோனியா + கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு

ஒருசில ஆல்ஜிபாசிகளில் யூரியேஸ் எனப்படும் நொதி காணப் படாததால், நேர்முகமாக யூரியா செரிக்கப்படுகிறது என்று பலர் கருதுகின்றனர். அந்தப் பொருள் ஆர்னிதின் என்ற அமினோ அமிலத்துடன் சேர்க்கப்பட்டு, ஆர்ஜினைன் (Arginine) என்ற பொருள் தோன்றலாம் என்றும் கருதுகின்றனர்.

நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு

வாயு உருவில் காணப்படும் நைட்ரஜனைத் தன்மயமாக்கும் தன்மையைப் பெற்றிருக்கும் தாவரங்களை நைட்ரஜனை நிலைப் படுத்துவன (Nitrogen fixers) என்றழைக்கலாம்.

1836-ல் ஹம்ப்ரீ டேவி (Humphry Davy) என்பவர், தாவரங் களில் ஆல்புமின் போன்ற பொருள்கள் காணப்படுமேயானால் அது காற்றிலிருந்து கிடைத்தது எனக் கூறலாம் என்று கருதினார். இதனை உறுதிப்படுத்தும் வகையில் பௌஸிங்கால்ட் (Boussin-gault 1838), அட்வாடர் (Atwater 1885), ஜோடின் (Jodin 1862), பெர்தலோட் (Berthelot 1885) போன்றவர்கள் அவரையினச் செடிகளிலும், நுண்ணுயிரிகளிலும் அத்தகைய பொருள்கள் காணப்படுகின்றன என்று குறிப்பிட்டனர். ஆனால் அதன் மர்மம் அவர்களுக்குத் தெளிவாகவில்லை.

ஜெர்மனியைச்சேர்ந்த ஹெல் ரீகெல் (Hell rigel) வில்ஃபார்த் (Wilfarth) என்ற இரு மேதைகள் 1886-லிருந்து 1888 வரை நிகழ்த்திய ஆய்வுகளில் அவரையினச் செடிகளைப்பற்றிய உண் மையை விளக்கினர்.

அவரையினச் செடிகள். அவற்றின் வேர் முண்டுகளில் பாக்டீரி யாக்களைக்கொண்டிருக்கின்றனவென்றும் அவை வாயுவிலுள்ள நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துகின்றன என்றும் கண்டுபிடித்தனர். முண்டுகள் இல்லா வேர்கள் நைட்ரஜனை உட்கொள்வதில்லை என வும் கண்டுபிடித்தனர்.

1893-ல் விநோகிராட்ஸ்கி (Winogradsky) என்பவர் சுய ஜீவி களான சில பாக்டீரியாக்கள் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துகின்றன என்று கண்டுபிடித்தார். இது கிளாஸ்ட்ரீடியம் பாஸ்டூரியானம் (Clostridium pasteurianum) என்றழைக்கப்படும்.

1928-ல் ட்ரூஸ் (Drewes) என்பவர் பசு நீலப்பாசிகள் நைட்ர ஜனை நிலைப்படுத்துகின்றன என்று கண்டு பிடித்தார். இவற்றை அனபீனா வேறியபிலிஸ் (Anabaena variabilles) என்றும், நாஸ் டாக் பன்க்டிஃபார்மீ (Nostoc punctiforme) என்றும் குறிப்பிட்

டார். மேலும் சில ஈஸ்ட்டு (Yeast) செல்களும் இத்துடன் சேர்த்துக்கொள்ளப்பட்டன.

இதனால் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் திறனில் சுய ஜீவிகள், கூட்டுயிர்கள் (Symbionts) என்ற இருதரத்தினவும் பங்குபெறுகின்றன என்பது தெளிவாகியது. இனிக் கூட்டுயிர்களின் தொகுப்பில் அமைந்த தாவரங்களையும், சுயஜீவிகளில் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் தாவரங்களையும் பின்வரும் அட்டவணையில் காண்போம்.

கூட்டுயிரிகள் போடோகார்பஸ் (Podocarbus) நீங்கலாக இருவித்திலைத் தாவரங்களும், அவற்றின் வேர்முண்டுகளில் அமைந்த நுண்ணுயிர்களான பாக்டீரியாவும் என்று நாம் அறியவேண்டும். இத்தகைய கூட்டு அமைப்பில் காணப்படுபவை தனித்தனியாக இருக்கையில் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துவதில்லை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. சுயஜீவிகளாக வாழ்ந்து நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் உயிரினங்கள் பெரும்பாலும் நுண்ணுயிர்களான பாக்டீரியா அல்லது பசு-நீலப் பாசிகள் எனலாம். பசு-நீலப்பாசிகள் மேலும் கூட்டு அமைப்புகளில் பலதரப்பட்ட தாவர இனங்களில் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துகின்றன.

கூட்டுயிர்களில் நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு

அவரையினம் அல்லது வேர் முண்டுள்ள லெக்யூம்கள் (Nodulated legumes)	வேர் முண்டுகளில் காணப்படும் பாக்டீரியா
1. பைஸம் Pisum (Spp) (பட்டாணி)	ரைஸோபியம் (Rhizobium)
2. டிரைஃபோலியம் (Trifolium Spp.) கிளாவர்கள்	,,
3. கிளைஸைன்மேக்ஸ் (Glysine max) சோயாபீன்கள்	,,

மற்றக் குடும்பத்தைச் சேர்ந்த உயர் தாவரங்கள் வேர்முண்டுள்ளவை	வேர் முண்டுகளில் காணப்படும் உயிரி
1. ஆல்நஸ் சிற்றினங்கள் (Alnus Spp.)	ஆக்டினோமைஸீட் (Actinomycete)
2. மிரிகா கேல் (Myrica gale)	,,
3. ஹிப்போஃபீ (Hippophae Spp.)	,,

ஜிம்னோஸ்பேர்ம் (Gymnosperm)	வேர் முண்டுகளில் காணப்படும் உயிரி
1 போடோகார்பஸ் (Podocarbus)	இனந்தெரியாத தடுப்புச் சுவர்கள் இல்லா இழைகளைக் கொண்ட உயிரி.

சுயஜீவிகளில் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துவன :

பாக்டீரியா

1. ஏரோபேக்டர் (Aerobacter)
2. அஸோடோபேக்டர் (Azotobacter)
3. பேய்ஜரின்கியா (Beijerinckia)
4. குரோமேஷியம் (Chromatium)
5. கிளாஸ்ட்ரீடியம் (Clostridium)

பசு-நீலப் பாசிகள்

1. அனபீனா (Anabaena)
2. கேலோத்ரிக்ஸ் (Calothrix)
3. ஃபிஷெரெல்லா (Fischerella)
4. நோஸ்டாக் (Nostoc)

கூட்டுயிர்களில் நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு

இது தாவரங்களுக்குத் தேவையான நைட்ரஜனில் பெரும் பகுதியை அளிக்கின்றது எனக் கருதுகின்றனர். ஆண்டிற்கு

100 மில்லியன் டன்கள் எடையுள்ள நைட்ரஜன் கூட்டுயிர்களில் நிகழும் நிலைப்படுத்தல் நிகழ்ச்சியில் சேமிக்கப்படுகிறது என்று கணக்கிட்டுள்ளனர். எனவே இந்தக் கூட்டுயிர்கள் தாவரங்களின் வாழ்க்கைக்கு உறுதுணையாகின்றன எனலாம்.

17ஆம் நூற்றாண்டிலேயே மேல்ஃபீஜி தாம் வரைந்த அவரை யினச் செடிகளின் படங்களில் வேர் முண்டுகளை வரைந்திருந்தார். ஆனால் அவற்றின் முக்கியத்துவம் அப்போது புலனாகவில்லை.

1888-ல் பேய்ஜரின்க் அவரை யினச் செடிகளில் வேர் முண்டு களை ஏற்படுத்தும் பாக்டீரியா ஒன்றைக் கண்டு பிடித்தார். அதற்கு அவர் பேஸில்லஸி ரேடிஸிகோலா (Bacillus radicicola) என்று பெயரிட்டார்.

பின்னர் ஃப்ரேன்க் அதற்கு ரைஸோபியம் லெக்யூமினோஸரம் (Rhizobium leguminc sarum) என்று பெயரிட்டார்.

பாக்டீரியா வேரினுள் செல்லுதல்

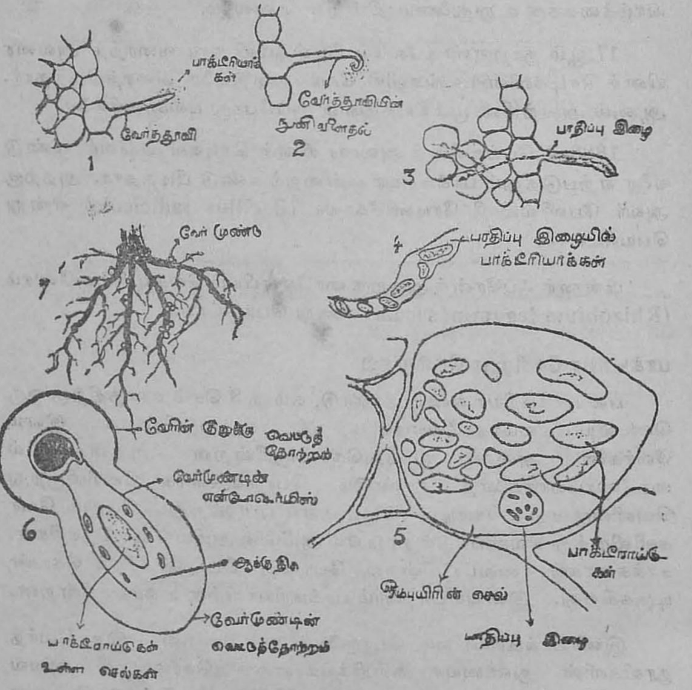
பல பாக்டீரியா ஒன்றுதிரண்டு, சுமார் 8 செல் கனத்திற்கு ஒரு மெல்லிய படலமாக வேரைச் சுற்றிக் காணப்படுகின்றன. இளம் வேர்களை அவை சூழ்ந்துகொள்ளுகின்றன. முதன்முதலில் ரைஸோபியாக்களைத் தூண்டும் பொருள்களாக வேரிலிருந்து வெளிவருவது பயோடின் (Biotin) எனப்படுகிறது. மேலும் வேர் களிலிருந்து வெளிப்படும் சாறு பல அமினோ அமிலங்கள்,நொதிகள். சர்க்கரைகள், வைட்டமின்கள் போன்ற பொருள்களைக் கொண் டிருக்கிறது. இவையனைத்தும் பாக்டீரியாவிற்கு உணவாகின்றன.

இனி பாக்டீரியா ஒரு பொருளைச் சுரக்கின்றன. இது வேர்த் தூவிகளின் நுனியைச் சுற்றிக்கொள்ளச் செய்வதால் அவை கொக்கிபோன்ற அமைப்பைப் பெறுகின்றன. இந்தப் பொருள் இன்டோல் அஸிடிக் அமிலமாக (Indole acetic acid) இருக்கலாம் என்று கருதுகின்றனர். பாக்டீரியா, அவரைச் செடியின் வேர்களின் சாறில் காணப்பட்ட அமினோ அமிலங்களில் ஒன்றான ட்ரிப்டோ ஃபேன் (Tryptophan) என்ற பொருளை உபயோகித்து இன்டோல் அஸிடிக் அமிலத்தைத் தயாரித்திருக்கலாம் என்பர்.

ரைஸோபியாக்களின் தூண்டுதலினால் தாவரம் பாலிகேலக்ட் யூரோனேஸ் (Polygalacturonase) என்ற நொதியை உற்பத்தி செய்கிறது.

இது வளர்ச்சிப் பொருள்களோடு சேர்ந்து வேர்த்தூவி செல்லின் சுவரில் நெகிழ்வுத் தன்மையை அதிகமாக்குகின்றன.

பின்னர் வேர்த்தூவியின் நுனியிலோ அல்லது அதனை அடுத்துள்ள பகுதியிலோ அமைந்த சுவர் வழியாக பாக்டீரியா உட்புகுகின்றன. (படம் 11.2.)



படம் 11.2. லெக்யூம் வேர்முண்டுகளும் பாக்டீரியாவும்

1. பாக்டீரியா வேர்த் தூவியின் அருகில் வருதல்
2. வேர்த் தூவியின் நுனி வளைதல்
3. பாக்டீரியா வேர்த் தூவியின் வழியாக, வேரின் பல செல்களைக் கடத்தல். பாக்டீரியா ஓர் இழைபோல் செல்லுகின்றன. இந்த இழை பாதிப்பு இழை எனப்படுகிறது.
4. பாதிப்பு இழையின் ஒரு பகுதியும் பாக்டீரியாவும்
5. பாக்டீரியாவால் பாதிக்கப்பட்ட செல். பாக்டீரியா மிகப் பெரியனவாகி பாக்டீராய்டுகள் எனப்படுகின்றன.
6. ஓம்புயிரின் வேரில் தோன்றும் முண்டின் வெட்டுத்தோற்றம். ஓம்புயிரினுடைய வேரின் ஸ்டீல் (Stele) பகுதியையும், வேர்முண்டின் என்டோடெர்மிஸ்ஸையும் கவனிக்கவும்.
7. லெக்யூம் செடியின் வேர்களும், அவற்றிலுள்ள வேர் முண்டுகளும்.

உட்செல்லும் பாக்டீரியா ஒன்றுசேர்ந்து ஓர் இழையாக நகரு கின்றன. இந்த இழை வேர்த்தூவியிலிருந்து புறணி செல்களுக் குச் செல்லுகின்றது. சுவரில் காணப்படும் குழிகளின்மூலம் இது செல்லலாம். இந்த இழைகள் தாம் தொற்றிக்கொள்ளும் செல்களை அடையும் வரை மேற்கண்ட பயணத்தை நடத்துகின்றன. அத் தகைய செல்களை அடைந்தவுடன் இழைகளிலுள்ள பாக்டீரியா வெளிவிடப்படுகின்றன. இந்த செல்கள் மற்ற செல்களிலிருந்து வேறுபடுகின்றன. இவை பாலிப்ளாய்டு செல்கள் என அழைக்கப் படுகின்றன. இங்ஙனம் வெளிவிடப்பட்ட பாக்டீரியா செல்லினுள் வாழ்ந்து பெரிதாகின்றன. உருவில் இவை முன்னிருந்ததைவிடப் பன்மடங்கு பெரிதாகின்றன எனலாம். இந்த நிலையில் இவற்றை பேக்டீராய்டுகள் (Bacteroids) என்றழைக்கின்றனர். முன் கண்ட பாக்டீரியாவைவிட பாக்டீராய்டுகள் 40 மடங்கு பெரியவை எனக் கணக்கிட்டுள்ளனர். இவை செல்லின் பெரும் பகுதியை எடுத்துக் கொள்கின்றன. இங்கு நியூக்ளியஸ், வாக்குவோல் போன்றவை மிகக் குறுகிய பகுதியில், அதாவது செல்லின் உட்புறத்தில் சுவரை ஒட்டி அமைந்துள்ள சைடோபிளாசத்தில் காணப்படும். எஞ்சிய பகுதியெல்லாம் பாக்டீராய்டுகளைக் கொண்டுள்ளது. பாக்டீராய்டு கள் ஓம்புயிர் செல்லின் சவ்வினால் சூழப்பட்டிருக்கின்றன.

பேக்டீராய்டுகள் பெரும்பாலும் புறணியின் உட்பகுதியில் அமைந்த செல்களில் காணப்படுகின்றன. ஒருசில தாவரங்களில் பெரிசைகிள் பகுதியிலும் பேக்டீராய்டுகள் காணப்படுகின்றன.

இங்ஙனம் பாதிக்கப்பட்ட செல்கள் மிகையாகப் பகுப்பு அடை கின்றன. இதனால் வேர் முண்டுகள் தோன்றுகின்றன. இது சிறிது சிறிதாகப் பெருகி வேரின் வெளிப்புறத்தில் தென்படுகிறது. இந்த வேர் முண்டுகளில் காணப்படும் செல்களில், ஏனைய செல் களைவிட குரோமோஸோம்களின் எண்ணிக்கை இரட்டித்துக் காணப்படுகிறது என்று விஃப் (Wipf), கூப்பர் (Cooper) என்ற இருவர் கண்டுபிடித்துள்ளனர். மேலும் இவர்கள். வேர்முண்டுகள் ஏற்படும்போது பேக்டீராய்டுகள் இத்தகைய இரட்டிப்பு எண் ணிக்கையுள்ள செல்களைத்தான் தேர்ந்தெடுக்கின்றன என்று கருதுகின்றனர். செல்களின் பகுப்பு மிகையாக நிகழ்வதற்குரிய காரணம் இன்னும் தெளிவாகவில்லை.

ரைஸோபியா (Rhizobia) வளர்ச்சிக்குகந்த பொருள்களான இன்டோல் அஸிடிக் அமிலம் போன்ற பொருள்களை உற்பத்தி செய்கின்றன. இதனால் வேர்முண்டுகள் ஏற்பட ஏதுவாக செல் பகுப்பு நிகழ்கிறது என்று கருதினர். திமேன் (Thiman) மேற் கண்ட கருத்தினைத் தெரிவித்தார். இதனை ஏற்றுக்கொள்வதில்

சில கருத்து வேறுபாடுகள் உள்ளன. ஏனெனில் மண்ணில் காணப்படும் வேறு சில நுண்ணுயிர்களும் இன்டோல் அஸிடிக் அமிலத்தை உற்பத்திசெய்கின்றன. இதனால் வேர் முண்டுகள் உண்டாவதில்லை.

வேர்முண்டுகளில் காணப்படும் நிறமி

ஓம்புயிரின் பாதிக்கப்பட்ட பகுதியின் மையத்தில் சிவப்பான நிறமி ஒன்று காணப்படுகிறது. இது இரத்த அணுக்களிலுள்ள ஹீமோகுளோபின் என்ற நிறமியை ஒத்திருக்கின்றது. விலங்கினத்தின் சுவாசித்தலில் ஹீமோகுளோபின் பங்குகொள்கின்றது, இது அங்கு ஆக்ஸிஜனை ஏற்கும் பொருளாக வினைபுரிகின்றது.

வேர்முண்டுகளில் காணப்படும் நிறமி 4 பைரோஸ் வளையங்கள் கொண்ட புரோஸ்தடிக் பகுதியின் மையத்தில் ஓர் இரும்பு அணுவைக் கொண்டிருக்கிறது. இது குளோபின் (Globin) என்ற புரதத்துடன் இணைந்துள்ளது.

நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் தளம்

வேர்முண்டுகளில் நைட்ரஜனை எந்தப் பகுதி நிலைப்படுத்துகிறது என்று அறியவேண்டும்.

வேர்முண்டுகளில் பேக்டீராய்டுகள் அமைந்த செல்கள், ஓம்புயிர் செல்கள், போன்ற பகுதிகள் உள்ளன. இனி பேக்டீராய்டுகள் காணப்படும் செல்களில், பேக்டீராய்டுகள் ஒரு சவ்வினால் சூழப்பட்டிருக்கின்றன. எஞ்சிய பகுதியில் செல்லின் ஸைடோபிளாசம், நியூக்ளியஸ், வாக்குவோல் போன்ற பகுதிகள் காணப்படுகின்றன என்று அறிந்தோம். மேற்கண்ட அமைப்புகளில் எவை நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துகின்றன என்பதை அறிய பெர்ஜெர்ஸென் (Bergersen) என்பவரும் வில்ஸனும் (Wilson) சோயாபீன் வேர்முண்டுகளில் ஓர் ஆய்வை நிகழ்த்தினர்.

அதில் காணப்படும் வேர்முண்டுகளுக்குக் கதிரியக்க (N^{15}) நைட்ரஜனை அளித்தனர். பின்னர் வேர்முண்டுகளைப் பிரித்தெடுத்து, ஸென்ட்ரிப்யூஜ்களில் சுற்றி, வேர்முண்டுகளிலுள்ள மூன்று பகுதிகளைத் தனித்தனியாகப் பிரித்தனர்.

அவைகள் பின்வருமாறு;—

(1) நீரில் கரையும் பகுதி.

(2) ஒரு சிறிது பேக்டீராய்டு திசுக்களைக்கொண்ட ஓம்புயிரின் சவ்வுப் பகுதி.

(3) பேக்டீராய்டுகளில் பெரும்பான்மை காணப்படும் பகுதி.

இவற்றில் ஓம்புயிரின் சவ்வுப் பகுதியில்தான் அதிக அளவிற்குக் கதிரியக்க நைட்ரஜன் காணப்பட்டது. இதனால் ஓம்புயிரின் சவ்வுப் பகுதியே நைட்ரஜன் நிலைப்பாட்டின் தளம் என்பது இங்கு பெறப்படும்.

இதனையே பல கோட்பாடுகளாக பெர்ஜெர்ஸென் வெளியிட்டார்.

1. ஓம்புயிரின் சவ்வுப் பகுதியே நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் தளம்.

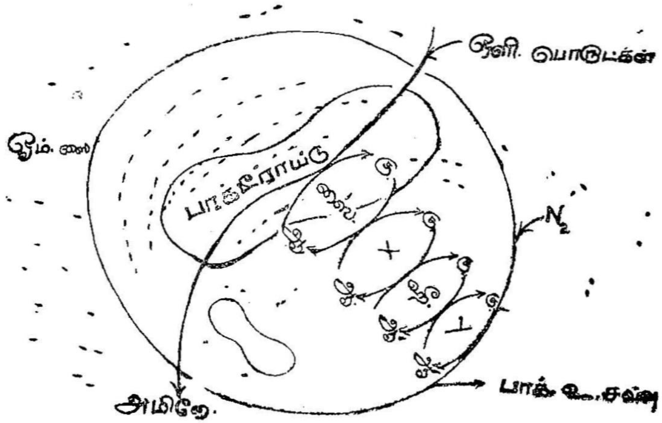
2. பேக்டீராய்டுகள் நைட்ரஜனைக் குறைப்பதற்கான சக்தியை லெக்ஹீமோகுளோபின் நிறமி வழியாக மேற்கண்ட சவ்விற்கு அனுப்புகின்றன. இங்கு ஹீமோகுளோபின் எலெக்ட்ரானைக் கடத்துகிறது.

3. இனி ஹீமோகுளோபின்கள் எங்ஙனம் பேக்டீராய்டுகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை ஏற்று, ஓம்புயிரின் சவ்விற்கு அனுப்புகின்றன என்பது தெளிவாகவில்லை. எனினும் பேக்டீராய்டுகளைச் சூழ்ந்துள்ள பிளாஸ்மா சவ்வில் காணப்படும் சைடோகுரோம்கள் மேற்கண்ட எலெக்ட்ரான் மாற்றத் தொடரில், எலெக்ட்ரானைக் கடத்தலாம் என்று கருதினர். (படம் 11.3).

4. ஓம்புயிர் ஒளிச் சேர்க்கையின்போது தயாரித்த கார்பன் கூட்டுப் பொருள்களை பேக்டீராய்டுகள் பெறுகின்றன. இவை பேக்டீராய்டுகளின் சக்தி தேவைக்காகச் சிதைக்கப்படலாம். மேலும் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துதற்கும் கார்பாக்ஸில் அமிலங்கள் தேவைப்படுகின்றன. அவையும் இந்தச் சிதைவின்மூலம் கிடைக்கலாம்.

பாயரின் கோட்பாடு

இவர் ஹீமோகுளோபினை இரு ஹீம்புரதங்களாகப் பிரிக்கலாம் என்று கண்டுபிடித்தார். இது மின்பிரிகை முறையில் (Electrophoresis) சாத்தியமாகலாம். மேற்கண்ட இரு ஹீம் புரதங்கள் அமைந்த அமைப்பின் மையத்தில் நைட்ரஜன் வந்து இணைகிறது என்றும், பின்னர் ஹைடிரஜனுடன் சேர்ந்து குறைத்தல் அடைகிறது என்றும் அவர் கருதுகின்றார்.



படம் 11.3. நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு

அமினோ = அமினோ அமிலம்
ஆ. = ஆக்ஸிகரணம்
கு. = குறைத்தல்
பாக். உ. சவ்வு = பாக்டீராய்டுகளைச் சூழ்ந்த உறைச்சவ்வு (ஓம்புயிர் சவ்வு)
ஒளி. பொருள்கள் = ஒளிச்சேர்க்கையில் கிடைக்கும் பொருள்கள்
ஓம். ஸை. = ஓம்புயிரின் ஸைடோபிளாசம்
ஸை. = ஸைடோகுரோம்
X. Y. = இனந்தெரியா நொதிகள்
ஹீ. = ஹீமோகுளோபின்

எனவே பாயரின் கருத்துப்படி நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு ஹீமோகுளோபினில் நிகழ்கின்றது. பாயரின் கோட்பாடை ஏபெல் (Abel என்பவரும் ஆதரித்தார்.

பாயரின் கருத்துப்படி ஹீமோகுளோபின்கள்தான் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் தளங்கள் எனக்கொண்டால், நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் சுய ஜீவிகளில் ஹீமோகுளோபின் காணப்படுவதில்லை மேலும் ஹைடிரோஜினேஸ், நைட்ரோஜினேஸ் போன்ற நொதிகளும் இங்குக் காணப்படுவதில்லை.

நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தலில் நிகழும் உயிர்வேதியியல் மாற்றங்கள்

வாயுவாகக் காணப்படும் நைட்ரஜன் முதலில் எந்த மாற்றத்தை அடைகிறது என்பதைக் கவனிக்க வேண்டும். பிறகு எந்த உருவில் அது அங்ககக் கூட்டுப் பொருள் அமைப்பாகிறது என்

பதை அறியவேண்டும். இந்த இரு மாற்றங்களுக்கிடையே தோன்றும் இடைப் பொருள்களையும், கிரியா ஊக்கிகளாக அமைந்த நொதிகளையும் பற்றி அறியவேண்டும்.

நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துவதற்கு நான்கு வழிகள் உள்ளன.

1) நைட்ரஜன் குறைத்தல் அடைதல்.
2) நைட்ரஜன் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுதல்.
3) நைட்ரஜன் நீர் இணைத்தலில் ஈடுபடுதல்.
4) நைட்ரஜன் நேர்முகமாக அங்ககக் கூட்டுப் பொருள்களோடு இணைதல்.

மேற்கண்ட நான்கு வழிகளில் நைட்ரஜன் முதலிரண்டு வழிகளில் சென்று நிலைப்படுத்தப்படுதலே பெரும்பாலும் நிகழ்கிறது. எனவே அவ்விரண்டு வழிகளும் நைட்ரஜன் நிலைப்படுதலுக்கு உகந்தனவா என்று ஆய்வோம்.

நைட்ரஜனின் ஆக்ஸீகரணப் பாதை

நைட்ரஜன் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுமேயானால் முதன்முதலில் தோன்றும் பொருள் நைட்ரஸ் ஆக்ஸைடாகவோ (N_2O) அல்லது நைட்ரமைடாகவோ ($H_2N—NO_2$) அல்லது ஹைபோநைட்ரஸ் அமிலமாகவோ ($HON=NOH$) இருக்கலாம் என்று கருதுகின்றனர்.

அஸோடோபேக்டர், அனபீனா போன்ற பசு-நீலப் பாசிகளில் நிகழ்த்திய ஆய்வுகளில் திருப்திகரமான முடிவுகள் வெளியாகவில்லை. ஆக்ஸீகரணப் பாதையைப் பற்றிய ஐயம் நிலவி வருகிறது.

மேற்கண்ட ஆக்ஸீகரணப் பாதையில் முடிவாக ஹைடிராக்ஸில் அமைன் (NH_2OH) என்ற பொருள் தோன்றுகிறது. இது தோன்றும் பாதைகளைப் பின்வரும் முறையில் குறிப்பிடலாம்.

1) $N_2 \longrightarrow H_2O \longrightarrow H_2N—NO_2 \longrightarrow 2\ NH_2OH$
நைட்ரஜன் → நைட்ரஸ் ஆக்ஸைடு → நைட்ரமைடு → ஹைடிராக்ஸில் அமைன்

2) $N_2 \longrightarrow N_2O \longrightarrow HON=NOH \longrightarrow 2\ NH_2OH$
ஹைபோநைட்ரஸ் அமிலம் → ஹைடிராக்ஸில் அமைன்

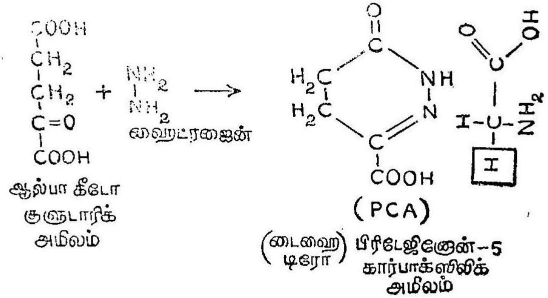
3) $N_2 \longrightarrow N_2O \longrightarrow 2\ NO \longrightarrow 2\ NH_2OH$
நைட்ரிக் ஆக்ஸைடு → ஹைடிராக்ஸில் அமைன்

அஸரேடோபேக்டர் என்ற பாக்டீரியாவில் நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு நிகழ்கிறது எனக் கண்டோம். இந்த பாக்டீரியாக்கள் காற்று வாழ் உயிர்கள். இவற்றிற்குக் கிளாஸ்ட்ரீடியம் ஹைடிரோஜினேஸ் (Clostridium hydrogenase) என்ற நொதியை அளித்தால், இவை *ஆக்ஸிஜன் தேவையில்லாமலேயே நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துகின்றன. இதனால்தான் ஆக்ஸீகரணப் பாதையில் நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு நிகழ்வதில்லை என்ற கருத்தினைப் பலரும் ஏற்றுக் கொள்ளுகின்றனர்.

நைட்ரஜனின் குறைத்தல் பாதை

நைட்ரஜன் குறைத்தல் அடையும்போது முதன்முதலில் தோன்றும் பொருள்கள் டைஇமைடு (HN=NH) அல்லது ஹைட்ராஜைன் (N_2H_4) போன்ற பொருள்களின் அமைப்பில் இருக்க வேண்டும் என்று கருதுகின்றனர்.

சோயாபீன், அஸோடோபேக்டர் போன்றவற்றில் நிகழ்த்திய ஆய்வுகளின் பயனாக, நைட்ரஜனின் குறைத்தல் பாதை ஹைட்ரஜனை முதலில் தோற்றுவிக்கின்றது என்று கண்டு பிடித்தனர். பின்னர் இது தாவரங்களில் காணப்படும் டைஹைடிரோபிரிடேஜினேன்-5-கார்பாக்ஸிலிக் அமில (Dihydro pyridazinone-5-Carboxylic acid) or PCA அமைப்பை அடைகிறது. இதற்கு ஹைட்ரஜன் ஆல்பா கீடோ குளுடாரிக் அமிலத்துடன் சேரவேண்டும்.



படம் 11.4.

*இங்கு அஸோடோபேக்டர் காற்று தேவையில்லாமல், கிளாஸ்ட்ரீடியம் ஹைடிரோஜினேஸை உபயோகித்து நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் எனக் கண்டோம். ஆனால் எல்லாக் காற்றுவாழ் சுய ஜீவிகளில் இது நிகழ்கிறதா என்பது தெளிவாகவில்லை.

மற்ருெரு குறைத்தல் பாதையில் ஹைடிராக்ஸில் அமைன் குறைத்தல் அடைந்து அம்மோனியாவைத் தோற்றுவிக்கின்றது. விளக்கப் படம் (பின் வருவதைக்) காண்க.

$$N_2 \longrightarrow N_2H_4 \longrightarrow 2\,NH_2OH \longrightarrow 2\,NH_3$$

நைட்ரஜன் ஹைட்ரஜன் ஹைடிராக்ஸில் அமைன் அம்மோனியா

ஆக்ஸீகரணப் பாதை, குறைத்தல் பாதை என இரு வழிகளைக் கண்டோம். இவற்றில் குறைத்தல் கிரியையே நிகழ்வதாகத் தெரிகிறது. மேலும் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் ஜீவிகள் ஹைடிராக்ஸில் அமைன், ஹைடிரஜைன், அம்மோனியா போன்ற இடைப் பொருள்களைத் தயாரிக்கின்றன என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். இவற்றில் அம்மோனியாவே முக்கிய இடைப் பொருளாக அமைகின்றது.

கதிரியக்க நைட்ரஜனைக்கொண்டு ஆய்வுகள் நிகழ்த்தியதில் உயிருள்ள பாக்டீரியாக்கள், பசுநீலப் பாசிகள் முதலியன அம்மோனியா, குளுடாமிக் அமிலம், அஸ்பார்டிக் அமிலம் போன்ற பொருள்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இதனுல் பெறப்படுவது என்னவென்ருல் முதலில் தோன்றும் பொருள் அம்மோனியாவாக இருத்தல் வேண்டும் என்பதே. அப்போதுதான் குளுடாமிக் அமிலம் தோன்ற முடியும்.

ஆல்பா கீடோ குளுடாரிக் அமிலம் + அம்மோனியா $\xrightarrow{\text{குளுடாமிக் டிஹைடிரோஜினேஸ்}}$ குளுடாமிக் அமிலம்

பின்னர் குளுடாமிக் அமிலத்திலிருந்து மாற்று அமனீகரணத்தின்மூலம் அஸ்பார்டிக் அமிலம் தோன்றும்.

குளுடாமிக் அமிலம் + ஆக்ஸலோ அஸிடேட் $\longrightarrow$ அஸ்பார்டிக் அமிலம்

எனவேதான் அம்மோனியாவை முக்கியமான இடைப்பொருளாகக் கருதுகின்றனர்.

நைட்ரஜனைக் குறைத்தலுக்குத் தேவையான சக்தி

நைட்ரஜனைக் குறைப்பதற்கு மூன்று வழிகள் உள்ளன.

1. பைருவேட்டின்மூலம் நைட்ரஜனைக் குறைத்தல்.
2. ஹைடிரஜன் வாயுவை உபயோகித்து நைட்ரஜனைக் குறைத்தல்.

3. ஒளிச்சேர்க்கை செய்யும் உயிரிகளில் ஒளிக்கிரியை யின்போது கிடைக்கும் குறைத்தல் சக்தியை உபயோகித்தல்.

பைருவேட்

கிளாஸ்ட்ரீடியம் பேஸ்ட்டுரியானம் (Clostridium pasteurianum) என்ற பாக்டீரியாவிலும், மற்றும் பல உயிரிகளிலும் பைருவேட் கீழ்வரும் நிகழ்ச்சியில் ஹைடிரஜனை வெளிவிடுகிறது என்று கண்டு பிடித்துள்ளனர்.

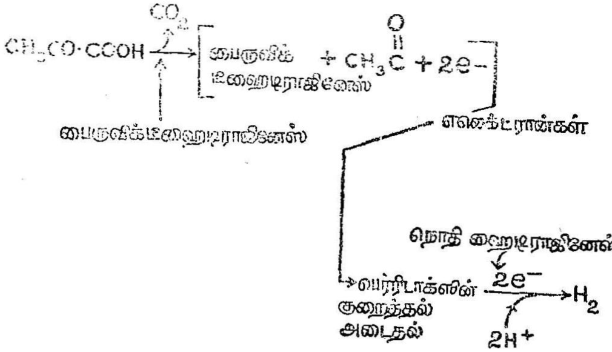
$$CH_3Co{\cdot}CooH + H_3Po_4 \longrightarrow CH_3(Co)H_2Po_4 + Co_2 + H_2$$

பைருவேட் ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமிலம் அஸிடைல் ஃபாஸ்ஃபேட்டு ஹைடிரஜன்

மேற்கண்ட நிகழ்ச்சியில் ஃபெர்ரிடாக்ஸினும் பங்கேற்கின்றது எனக் கண்டு பிடித்துள்ளனர்.

ஹைடிரஜனை வெளிப்படுத்தும் ஃபெர்ரிடாக்ஸின் (Ferredoxin)

பைருவேட்டின் மூன்று கார்பனில் ஒன்றைக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாக நீக்கிய பிறகு, நொதியுடன் இணைந்த கூட்டாகக் காணப்படுகிறது. இந்த நிலையில் இது அஸிடைல் பகுதியையும் இரு எலெக்ட்ரான்களையும் கொண்டிருக்கிறது. இவை ஃபெர்ரிடாக்ஸின் மூலம் ஹைடிரோஜினேஸ் நொதியால் புரோட்டான்களோடு இணைந்து ஹைடிரஜன் மூலக்கூறைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இதனால் ஃபெர்ரிடாக்ஸின் ஆக்ஸீகரணம் அடைகிறது.



படம் 11.3

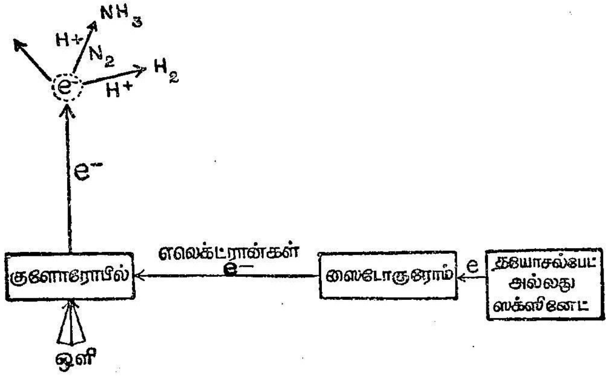
2. ஹைடிரஜன் வாயு

ஆர்னோன் 1960-ல் ஹைடிரஜன் வாயு குரோமேஷியம் என்ற பாக்டீரியாவில் நைட்ரஜனைக் குறைக்க உதவுகிறது என்று கண்டு பிடித்தார். கிளாஸ்ட்ரீடியத்திலும் இது நிகழ்கிறது என்று கண்டு பிடித்துள்ளனர்.

3. ஒளிக்கிரியையில் நைட்ரஜனைக் குறைத்தல்

1956-ல் ஜெஸ்ட், ஒளிச்சேர்க்கை புரியும் பாக்டீரியாக்களில் ஹைட்ரஜன் வெளிவருவதை, நைட்ரஜன் தடைசெய்கிறது என்று கண்டு பிடித்தார். நைட்ரஜன் குறைத்தல் அடையும் இந்த நிகழ்ச்சியில் நீர் சிதைக்கப்படவேண்டும். இதனால் ஹைடிரஜனும் ஹைடிராக்ஸிலும் கிடைக்கின்றன. இங்கு வெளிப்படும் ஹைடி ரஜன் நைட்ரஜனோடு இணைந்தால் அது அம்மோனியாவைத் தோற்றுவிக்கும்.

ஆர்னோன் குரோமேஷியம் போன்ற பாக்டீரியா தயோ சல்பேட்டு, ஸக்ஸினேட்டு போன்ற அங்ககப் பொருள்களை உபயோகித்துத் தமக்கு வேண்டிய குறைத்தல் சக்தியைப் பெறு கின்றனவென்று ஆர்னோன் தெளிவாக்கியதை அறிவோம்.



படம் 11.5. குரோமேஷியத்தின் ஒளிக்கிரியை

சக்தியை அளிக்கும் சாதனங்கள்

நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் கிரியை சக்தியை வெளிப் படுத்துவதா (Exergonic reaction) அல்லது சக்தியை ஏற்றுக் கொள்வதா (Endergonic reaction) என்ற ஐயம் நிலவி வருகிறது.

சக்தி தேவைப்படும் நிகழ்ச்சிகளோடு ATP-யின் நீர் இணைத்தல் நிகழ்ச்சியையும் சேர்த்தோமானால், தேவையான சக்தி ATP-யின் சிதைவில் வெளிவரும். ஒளிச் சேர்க்கையில் ஒளி ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்தின்மூலம் ATP உற்பத்தியாகி நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துவதற்கு உதவலாம். ஒளிச்சேர்க்கை நிகழாத நிலையில் ஆக்ஸீகரண ஃபாஸ்ஃபரீகரணத்தின்மூலம் ATP உற்பத்தியாகிறது. கூட்டுயிரிகளுக்குத் தேவையான ATP ஓம்புயிரிகளிலிருந்து மேற்கண்ட இரு வழிகளில் கிடைக்கலாம்.

நைட்ரோஜினேஸும் ஹைடிரோஜினேஸும்

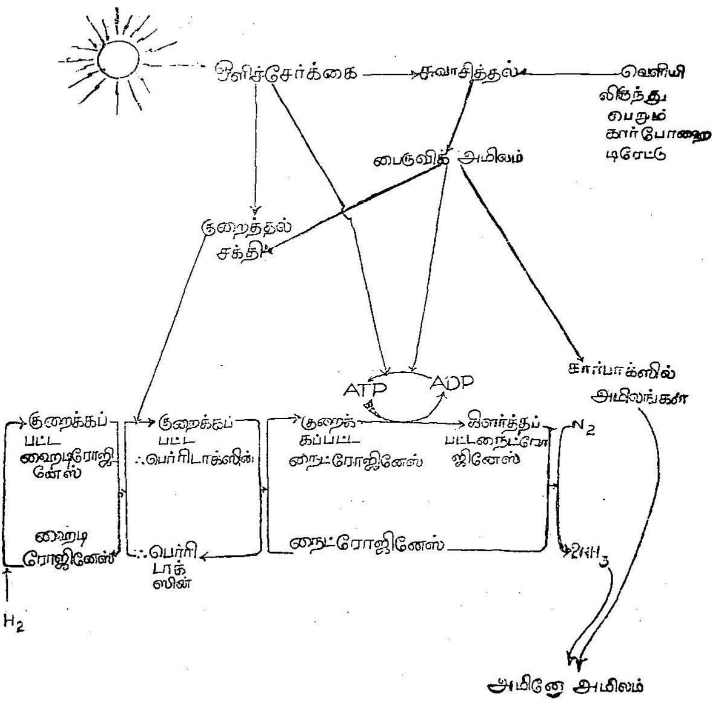
நைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதி குறைத்தல் அடைந்த ஃபெர்ரிடாக்ஸினிலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை ஏற்கலாம். பின்னர் ATP-யால் கிளர்த்தப்பட்டு நைட்ரஜனைக் குறைக்கலாம். மேற்கண்ட நைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதியின் வினைகளைக் குறிப்பிட்டபோதும், அவற்றின் இயற்கையை இன்னும் தெளிவாக அறியவில்லை. அது மாலிப்டோ ஃப்ளேவோ புரதம் (Molybdo flavo protein), இரும்பு ஃப்ளேவின் புரதம், அல்லது இரு உலோகக் கலப்புடைய ஃப்ளேவின் புரதம் என்றெல்லாம் கருதப்படுகிறது.

ஹைடிரோஜினேஸ் என்ற நொதி ஹைடிரஜன் அயனிகளை ஹைடிரஜனாகவோ அல்லது ஹைடிரஜனை, ஹைடிரஜன் அயனிகளாகவோ மாற்றவல்லது. இது நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தும் எல்லா உயிரிகளிலும் கண்டனர். இதனுடைய இயற்கை இன்னும் ஐயத்திற்குரியதாக உள்ளது. இதனை ஷக் (Shug) ஒரு மாலிப்டின ஃப்ளேவின் புரதமாகக் கருதினார்.

முன்னர், நைட்ரோஜினேஸ், ஹைடிரோஜினேஸ் என்ற இரு நொதிகளையும், ஒரே நொதியின் அங்கங்களாகக் கருதி வந்தனர். ஆனால் இன்று அந்த நிலைமை மாறி அவை யிரண்டையும் தனித் தனிப் புரதங்களாகக் கருதுகின்றனர்,

படம் 11.6-ல் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துதற்கான திட்டம் ஒன்று அளிக்கப்பட்டுள்ளது. இங்கு ஒளிச் சேர்க்கையில் பெறும் கார்போஹைடிரேட்டுகள் சுவாசித்தலில் சிதைவுறுகின்றன என்று காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால் கார்பாக்ஸில் அமிலங்கள் பைருவிக் அமிலத்தின் வழியாக, சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் கிடைப்பது பெறப்படும்.

மேற்கண்ட ஹைடிரோஜினேஸின் உதவியாலோ அல்லது உணவுப் பொருள்கள் சுவாசித்தலில் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படும்போது



படம் 11.6. நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துவதற்கான திட்டம்

H_2 = ஹைடிரஜன்
N_2 = நைட்ரஜன்
2 NH_3 = அம்மோனியா

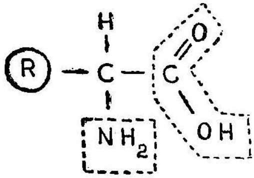
சுய ஜீவிகளில் கூட்டுயிரிகள் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துகின்றன. அப்போது நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்துவதற்குத் தேவையான குறைத்தல் சக்தியும், கிரியா சக்தியும் ஓம்புயிரிகளிலிருந்து கிடைக்கும். ஓம்புயிரிகளின் ஒளிச்சேர்க்கையும், சுவாசித்தலுமே இதற்குத் துணையானவை. அமனீகரணத்திற்குத் தேவையான கார்பாக்ஸில் அமிலங்களையும் மேற்கண்ட வழிகளில் பெறலாம். ஹைடிரோஜினேஸ், நைட்ரோஜினேஸ் என்ற இரு நொதிகளுக்கிடையே ஃபெர்ரிடாக்ஸின் வினைபுரிவதாகக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

கிடைக்கும் குறைத்தல் சக்தியோ, ஃபெர்ரிடாக்ஸினைக் குறைக்கின்றன. ATP-யின் உற்பத்தி ஒளிச்சேர்க்கையிலும், ஆக்ஸீகரண ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சியிலும் உண்டாவதை அறிவோம்.

எனவே நைட்ரோஜினேஸைக் கிளர்த்த ATP-யின் சக்தி உதவுகிறது. இதனுல் நைட்ரஜன் எலெக்ட்ரான்களோடு சேர்க்கப்பட்டு அம்மோனியா தோன்றுகிறது.

அம்மோனியா, கார்பாக்ஸில் அமிலங்களுடன் இணைவதால் அமினே அமிலங்கள் தோன்றுகின்றன என்பதை அறிவோம்.

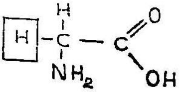
அமினே அமிலங்கள் பெரும்பாலும் கீழ்வரும் அமைப்பினைப் பெற்றிருக்கின்றன. இந்த மூலக் கூறுகள், ஒரு நுனியில் அமிலப் பகுதியான கார்பாக்ஸில் பகுதியைக் கொண்டிருக்கின்றன.



படம் 11.7.

ஓர் அமினே அமிலம் கார்பாக்ஸில் பகுதியிலுள்ள கார்பன் மற்ருெரு கார்பனுடன் இணைந்திருக்கிறது. இந்தக் கார்பனை ஆல்ஃபா கார்பன் அணு (∝-Carbon atom) என்றழைப்பர். இதன் இணைப்புப் பட்டைகளில் ஒன்று ஹைடிரஜனையும், மற்ருென்று அமினே (NH_2) பகுதியையும், மூன்ருவது கார்பாக்ஸில் பகுதியையும், எஞ்சிய நான்காம் பட்டை (R) என்று குறிப்பிட்டுள்ள அணுவையோ, அணுக்களையோ இணைக்கிறது.

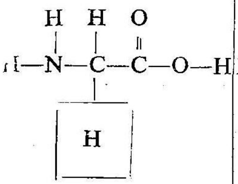
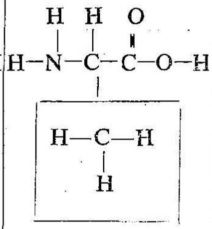
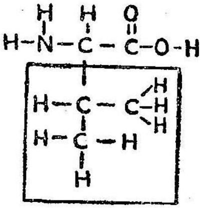
மேற்கண்ட R, பகுதி ஒரு ஹைடிரஜனை மட்டும் குறிப்பதாக விருந்தால் இது கிளைஸைன் (Clycine) என்ற அமினே அமிலத்தைக் குறிப்பதாகும்.

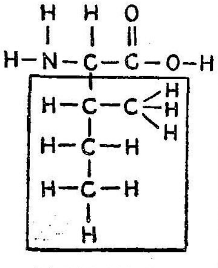
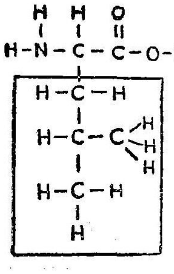
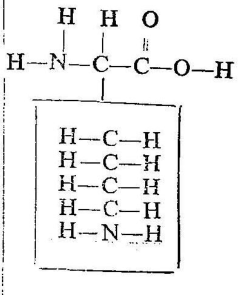


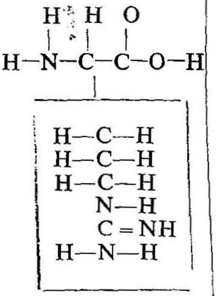
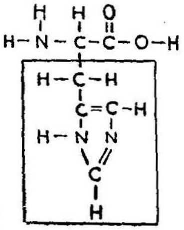
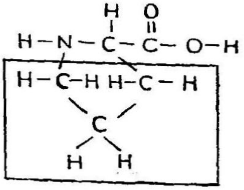
படம் 11.8. கிளைஸைன்

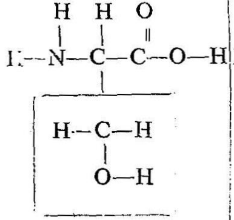
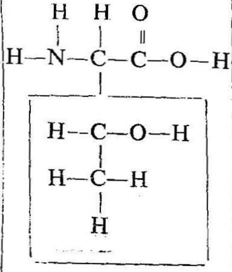
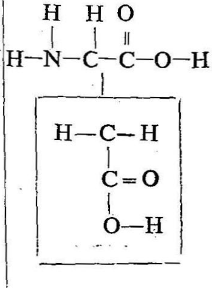
கீழ்வரும் அட்டவணையில் 20 வகை அமினே அமிலங்களின் அமைப்புக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. அவற்றில் R, பகுதிகள் மட்டும் சதுரம் அல்லது செவ்வக அறைகளுக்குள் அடங்குவதை நோக்குக. மேலும் அமினே அமிலங்களில் R பகுதிகள் மட்டும் பல வாருக இருத்தலைக் கவனிக்கவும்.

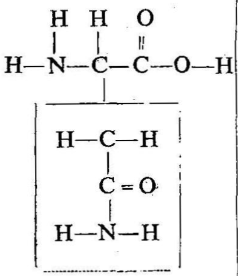
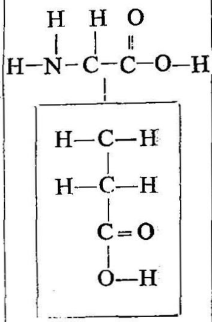
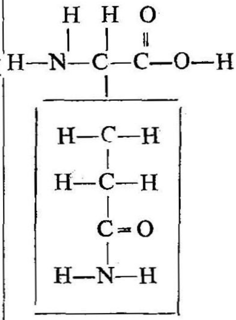
அட்டவணை 20 வகை அமினோ அமிலங்கள்

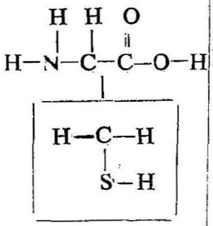
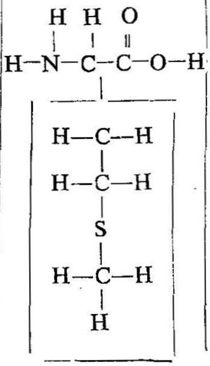
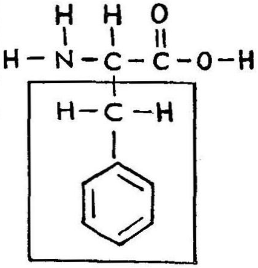
கிளைசைன் [Glycine (GLY)]	அலனைன் [(Alanine (ALA)]	வேலைன் [(Valine (VAL)]
		

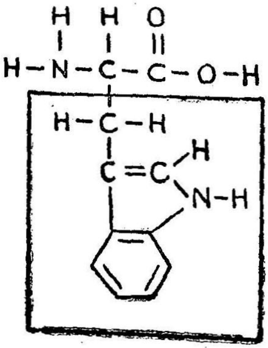
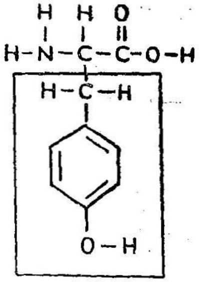
ஐசோல்யூசைன் [(Isoloucine (ILEU)]	ல்யூசைன் [(Leucine) (LEU)]	லைசைன் [(Lysine) (LYS)]
		

ஆர்ஜினைன் [(Arginine) (ARG)]	ஹிஸ்டிடைன் [(Histidine) (HIS)]	புரோலைன் [(Proline) (PRO)]
		

ஸீரைன் [(Serine) (SER)]	திரியோனைன் [(Threonine) THR)]	அஸ்பார்டிக் அமிலம் [(Aspartic acid ASP)]
		

அஸ்பேரஜீன் [(Asparagine ASN)]	குளூடாமிக் அமிலம் [Glutamic acid GLU]	குளூடேமைன் [Glutamine GLN]
		

சிஸ்டீன் [(Cysteine)(CYS)]	மீதியோனைன் [Methionine MET]	டைரோஸைன் [(Tyrosine) (TYR)]
		

டிரிப்டோஃபேன் [Tryptophan TRY]	ஃபீனைல் அலனின் [Phenyl alanine PHE]
	

மேற்கண்ட அமினோ அமிலங்களின் அட்டவணையில் கிளைஸைனைத் தவிர மற்ற அனைத்தும் D அல்லது L உருவில் காணப்படலாம், இங்கு D, L, எனக் குறிப்பிட்டது, அவற்றில் டயாஸ்டீரோமர் உருவ அமைப்புகளைக் குறிக்கும்.

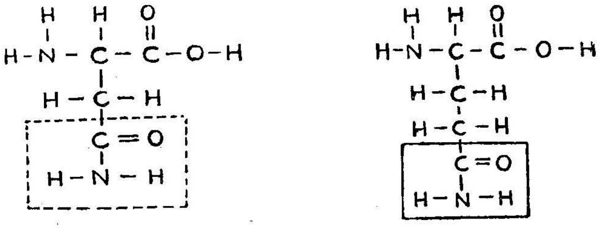
அட்டவணையில் உள்ள குளூடாமிக், அஸ்பார்டிக் அமிலங்கள் இரண்டு கார்பாக்ஸில் பகுதிகளைக் கொண்ட அமினோ அமிலங்கள் என்று அறியலாம். இவற்றிற்கும் ஆல்ஃபா கீடோ குளூடாரிக் அமிலம் ஆக்ஸலோ அசிட்டிக் அமிலம் போன்றவற்றிற்கும் ஒற்றுமை இருப்பதைக் காண்க

டைரோஸைன், டிரிப்டோஃபேன், ஃபீனைல் அலனின் போன்றவை பென்ஸீன் வளையங்களைக் கொண்டிருப்பதைக் கவனிக்கவும்.

குளூடமைன், அஸ்பேரஜீன் போன்ற அமினோ அமிலங்களை, அமைடுகள் என்றழைப்பார். ஏனெனில் மேற்கண்ட குளூடமைனின், அமைப்பு குளூடாமிக் அமிலத்தை ஒத்திருக்கிறது. மேலும் குளூடாமிக் அமிலத்திலுள்ள இரு கார்பாக்ஸில் பகுதிகளில் ஒன்றின் அமைப்பில் ஹைடிராக்ஸிலுக்குப் பதிலாக அமினோ பகுதி காணப்படுகிறது. இதனால் குளூடாமிக் அமிலம், குளூடமைனாகத் திரிந்தது.

அஸ்பேரஜீனிலும், அஸ்பார்டிக் அமிலத்தின் மாற்று உருவமே காணப்படுகிறது. இங்கும் ஒரு கார்பாக்ஸில் பகுதியில்

ஹைடிராக்ஸிலுக்குப் பதிலாக அமினோ பகுதி காணப்படுகிறது. இதனைக் கீழ்வருமாறு குறிப்பிடலாம்.



படம் 11.9.

அஸ்பேரஜீனிலும் குளூடமைனிலும் காணப்படும் அமைடு பகுதிகள்

அமினீகரணம்

குளூடேமிக் டீஹைடிரோஜினேஸ் (Glutamic dehydrogenese என்ற நொதி, இணை நொதியாக NAD-ஐக் கொண்டுள்ளது இதன் ஊக்குத் திறனால், ஆல்ஃபா கீடோகுளூடேரிக் அமிலம். குளூடேமிக் அமிலமாகிறது. இது இரு கிரியைகளில் நிகழ்வதாகக் கூறுகின்றனர்.

கிரியை 1

முதலில் ஆல்ஃபா கீடோ குளூடாரிக் அமிலம் அம்மோனியா வுடன் சேர்ந்து ஆல்ஃபா இம்மினோகுளூடேரிக் அமிலம் (α-Iminoglutaric acid) தோன்றுகிறது. இது பின்னர் குறைத் தல் அடைகிறது.

α-கீடோகுளூடாரிக் + NH_3 ⟶ ஆல்பா
அமிலம் அம்மோனியா ⟵ இம்மினோ குளூடேரிக்
அமிலம்

கிரியை 2

ஆல்ஃபா இம்மினோ குளூடேரிக் அமிலம் குறைத்தல் அடைந்த (அதாவது ஹைடிரஜனை ஏற்றுவரும்) குளூடேமிக் டீஹைடி ரோஜினேஸின் இணை நொதியின் உதவியால் குறைக்கப்படுகிறது. ஹைடிரஜனை அமிலத்திற்கு மாற்றிய இணை நொதி இதனால் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுகிறது.

குளூடேமிக்
டீஹைடிரோஜினேஸ்

கிரி 2. ஆல்ஃபா இம்மினோ + $NADH_2$ ——→
←—— குளூடேமிக்
குளூடேரிக் அமிலம் அமிலம்
+
NAD^+

மாற்று அமினீகரணம்

இனி குளூடேமிக் அமிலம், மற்ற இரு கார்பாக்ஸில் அமிலங்களுக்கு (Dicarboxylic acids) தன் அமினோ பகுதியை அளிக்கிறது. இதனால் வேறுவகைப்பட்ட அமினோ அமிலம் தோன்றுகிறது.

கிரி 3.
டிரான்ஸ்
குளூடேமிக் அமிலம் + ஆக்ஸலோ அமினேஸ்
அஸிடிக் அமிலம் ——————→ ஆல்ஃபா கீடோ
←—————— குளூடேரிக் அமிலம்
+
அஸ்பேர்டிக்
அமிலம்.

இங்கு ஊக்கியாகும் நொதி டிரான்ஸ் அமினேஸ் (Transaminase) எனப்படும். இது பிரிடோக்ஸின் (Pyridoxine) என்ற வைட்டமினிலிருந்து கிடைத்த புரோஸ்தடிக் பகுதியைப் பெற்றிருக்கின்றது என்பர். பிரிடாக்ஸின், பிரிடாக்ஸைல் ஃபாஸ்ஃபேட்டாக மாறி(Pyridoxal phosphate)ட் புரதத்துடன் இணைந்திருக்கிறது எனலாம். இந்த நொதி அனைத்து உயிர்களிலும் காணப்படுவதாகும்.

ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமிலம், ஆல்ஃபா கீடோ குளூடேரிக் அமிலம் போன்றவை சுவாசித்தலில் உண்டாகும் இடைப் பொருள்கள் என்றறிவோம். சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் உண்டாகும் இவை அமினோ அமிலங்களின் உற்பத்தியில் பங்கு கொள்வதைக் காண்க.

இதனால், சுவாசித்தலில் கார்போஹைடிரேட்டுகளோ அல்லது மற்ற உணவுப் பொருள்களோ சிதைவுறுகையில் அமினோ அமிலங்களின் வளர்மாற்றங்களுக்கு அவை பயன்படுவது ஒரு முக்கியக் குறிப்பாகும்.

சுருங்கச் சொல்லின் நைட்ரஜனின் வளர்மாற்றங்கள் நைட்ரஜனை நிலைப்படுத்தலில் துவங்குகின்றன. இதில் பல வழிகள் தென்படுகின்றன. நைட்ரஜனைக் குறைத்து அம்மோனியாவை

உண்டாக்குதலே அதிகமாகத் தாவரங்களில் நிகழ்கிறது. நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு எளிய உயிரிகளான பேக்டீரியாக்களில் நிகழலாம் ; அல்லது பேக்டீரியா — உயர் தாவரக் கூட்டுகளில் நிகழலாம் ; பசு நீலப்பாசியான ஆல்ஜீ உயிரிகளில் நிகழலாம்.

நைட்ரஜன் ஆக்ஸீகரணப் பாதை வழியாக நிலைப்படுத்தப் படுகிறது என்பதைவிடக் குறைத்தல் வழியே பெரும்பாலும் நிலைப் படுத்தப்படுகிறது என்று பார்த்தோம். இதனால் நைட்ரஜன் நிலைப்பாடில் அம்மோனியா தோன்றுவதை ஏற்றுக் கொள்ள லாம்.

நைட்ரஜனை (N_2) அம்மோனியா (N_3H) அமைப்பிற்குக் கொண்டுவர, ஹைடிரஜன்களைச் சேர்த்தல் வேண்டும் இதனால் எலக்ட்ரான் மார்க்கத் தொடர் தேவைப்படுகின்றது. ஹீமோ குளோபின் வகையைச் சேர்ந்த நிறமி ரைஸோபியம்—லெக்யூம் கூட்டுயிரிகளில் இதனைச் செய்கிறதென்பர்,

குரோமேஷியம் போன்ற சுயஜீவிகளில் ஒளிக்கிரியையில் இது சாத்தியமாகுமென்பர், பசுநீலப் பாசிகளிலும் இத்தகைய நிலைமை காணப்படுகிறது.

எனவே நைட்ரஜனைக் குறைத்தலுக்கு, குறைத்தல் சக்தியும் (Reducing potential , கிரியா சக்தியும் தேவைப்படுகிறது. இங்குக் கிரியா சக்தியெனக் குறிப்பிடப்பட்டது ATPயாகும். சக்தி தேவைப் படும் கிரியைகளுக்கு (Endergonic reactions) ATPயின் நீர் இணைத்தலில் (Hydrolysis) வெளிவரும் சக்தி பயன்படுகிறது. ATPயின் உற்பத்தி, சுயஜீவிகளில், ஒளிக்கிரியையினாலும், கூட்டு யிரிகளாக இருப்பனவற்றில், ஓம்புயிரிகளின் ஒளிக்கிரியையினாலும் கிடைக்கிறது.

குறைத்தல் சக்தி ($NADPH_2$ அல்லது $NADH_2$) எல்லா உயிரிகளிலும் நிகழும் சுவாசித்தலில் பைருவேட்டின் (Pyruvate) வழியாகக் கிடைக்கிறது. பைருவேட்டின் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சி களில் $NADH_2$, $NADPH_2$ போன்றவை உண்டாவதை நினைவு கூர்க.

கார்பாக்ஸில் அமிலங்கள், பைருவிக் அமிலம் போன்றவை அமினீகரணம் (Amination) அடைந்து அமினோ அமிலங்கள் தோன்றின. மேற்கண்ட அமினீகரணம், குறைத்தல் அமினி கரணம் (Reductive amination) அல்லது மாற்று அமினீகரணம் (Transamination) என இருவகைப் படலாம்,

அமினோ அமிலங்கள் 20 வகைப்படுகின்றன. எனவே தாவரங்கள் கட்டிய கார்போஹைடிரேட்டுகளின் சிதைவில் அல்லது வளர் மாற்றங்களில் உற்பத்தியான கார்பாக்ஸில், பைருவிக் அமிலங்களுடன் அம்மோனியா சேர்க்கப்பட்டு புதியதோர் அங்ககப் பொருள் தோற்றுவிக்கப்பட்டுள்ளது.

இனி இந்த அமினோ அமிலங்கள் புரோடோபிளாசத்தின் முக்கிய அங்கங்கள் அனைத்தையும் உருவாக்கும் புரதங்களைக் கட்டும் அலகுகளாகின்றன.

குளுகோஸ் செல் சுவரைக்கட்டும் சிறு அலகு; கார்போஹைடிரேட்டுகளின் வரிசையில் தரசம், சுக்ரோஸ் போன்ற பல பெரிய கூட்டுப் பொருள்களைக் கட்டும் அடிப்படை அலகு; சுவாசித்தலில் புகுவதும் அதுவேயாகும். தரசத்தின் சிறு அலகு குளுகோஸ் என்று கூறினால் புரதத்தின் சிறு அலகுகள், அமினோ அமிலங்கள் என்று கூறலாம். செல்களின் உள்ளமைப்பிற்கும் நொதிகளின் அமைப்பிற்கும் முக்கியமான புரதத்தின் அடிப்படை அலகுகள் அமினோ அமிலங்கள் என்று கூறியவுடனே அவற்றின் சிறப்புப் புலனாகிவிடும்.

கரியை அடிப்படையாகக் கொண்ட உயிரிகளின் உடலில் காணப்படும் கூட்டுப் பொருள்களில் ஒன்று சிறந்தது ஒன்று தாழ்ந்தது என வேறுபடுத்த முடியாது இறுதியில் அனைத்தும் கரி ஆக்ஸைடாக (கார்பன்டை ஆக்ஸைடாகச்) சிதைவுறுகின்றன அல்லது அவற்றின் வளர் மாற்றமும் கார்பனை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளது எனலாம்.

ஆனால், ''சிறப்பொவ்வா செய்தொழில் வேற்றுமையான்'', என்றபடி புரதங்களின் சீரிய வினைத்திறனால் இங்கு சிறப்பானவை எனக் கூறப்பட்டன.

12. நியூக்ளிக் அமிலங்கள்

ஆர்தர் கோர்ன்பெர்க் (Arthur Kornberg) என்பவரும் அவருடைய சகாக்களும் நியூக்ளிக் அமிலங்களில் ஒன்ருன DNA வை உற்பத்தி செய்வதில் முனைந்தனர். இது உயிரின் அடிப்படைத் தத்துவத்தையே உருவாக்க முனைந்ததைப் போலாகும். அவர்கள், செல்லின் சூழ்நிலையற்ற சோதனைக் குழலில் இதனைச் செய்ய முனைந்தனர். ஆனல் அதற்கென செல்லின் நொதிகளை எடுத்து உபயோகித்தனர்.

1953-ல் ஜேம்ஸ் வாட்ஸனும் (James Watson) ஃப்ரான்ஸிஸ் கிரிக்கும் (Francis Crick), DNA எனப்படும் நியூக்ளிக் அமிலம் இரு இழைச் சுருள் (Double stranded helix) என்றும். ஓர் உயிரின் மரபுக் குணங்களைப் பரம்பரை பரம்பரையாக எடுத்துச் செல்லும் என்றும் கண்டு பிடித்தனர். இவை இனங்களின் மரபுக் குணங்களை வரையறுக்கின்றன. ஒவ்வோர் உயிரினத்திலும் அமைந்த புரத அமைப்பிற்கு வழி கோலுவதன் மூலம் இது சாத்தியமாகிறது. ஓர் உயிரினத்தின் புரதங்களே அதன் அமைப்பினைக் கட்டுகின்றன. எனவே புரதம் உயிரினத்தின் அடிப்படையாகிறது.

ஒரு தாவரத்தின் வாழ்க்கையை ஆய்ந்து பார்த்தால் பல விவரங்கள் வெளிப்படுகின்றன. தாவரத்தில் அமைந்த திசுக் குழுக்களும், அவற்றில் காணப்படும் செல்களும், செல்லினுள் அமைந்த பகுதிகளும் எனப் பகுத்து நோக்கின் அனைத்தும் புரதத்தாலானவை. சவ்வுப் புரதம், நொதிப்புரதங்கள், நியூக்ளியோ புரதங்கள் எனப் பலதரப்பட்ட புரதக் கூறுகளே செல்லில் வியாபித்துள்ளன. ஒவ்வோர் இனத்திலும் இத்தகைய புரத அமைப்பு, அதில் காணப்படும் தனிப்பட்ட நொதிப் புரதங்களின் குழுக்கள், அந்த உயிரினத்தின் வளர் சிதை மாற்றங்களை நிச்சயிக்கின்றன. எனவே அந்தப் புரத அமைப்பை வரையறுக்

கும் DNA ஓர் இனத்தின் மரபுக் குணங்களை வெளிப்படுத்தும் திறவுகோல் எனலாம்.

1968-ல் கோர்ன்பர்க் செல்லில் காணப்படும் இயற்கையான நியூக்ளிக் அமிலத்தை வார்ப்பு அச்சாக உபயோகித்து இத்தகைய நியூக்ளிக் அமிலத்தைச் செயல் முறையில் உருவாக்கினர். இங்ஙனம் உருவாக்கப்பட்ட நியூக்ளிக் அமிலம் இயற்கையான நியூக்ளிக் அமிலத்தின் செயல் திறனை யெல்லாம் பெற்றிருந்தது.

இங்ஙனம் செல்லின் சூழ்நிலை யில்லாத இடத்தில் பல வளர் மாற்றங்களைத் தோற்றுவிப்பது அறிவுலகிற்குப் புதிதல்ல.

எட்வர்ட் புக்கனர் 1897-ல் ஈஸ்ட்டு செல்லின் சாரம் தற் செயலாக சர்க்கரையை நொதிக்கச் செய்த நிகழ்ச்சியிலிருந்தே இத்தகைய ஆய்வு துவங்கிவிட்டது.

1950-ல் நொதிகளை உபயோகித்துப் பல பெரிய கூட்டுப் பொருள்களைச் சிதைத்தனர். தூய்மையாக்கப்பட்ட நொதிகளின் உதவியால், செல்லில்லா சூழ்நிலையில் பல பெரிய மூலக்கூறுகளைக் கட்ட முடியும் என்றும் கண்டுபிடித்தனர். இதனால் செல்லற்ற சூழ்நிலையில் சிதை மாற்றங்கள் மட்டுமின்றி வளர் மாற்றங்களையும் நிகழ்த்திக் காட்டலாம் என்ற நிலைமை தெளிவாகியது. வளர் மாற்றங்கள் சிதை மாற்றங்களிலிருந்து வேறுபடுவதையும் அறிந்திருந்தனர்.

1955-ல் மெனுகோ (Manogo) ஓர் எதிர்பாராத உண்மையைக் கண்டு பிடித்தார். செல் சாரம் பல ADP மூலக்கூறுகளை உப யோகித்து ஒரு நியூக்ளிக் அமில மூலக்கூறைத் தோற்றுவிப்பதை அவர் கண்டார். இது நியூக்ளிக் அமில வகையைச் சேர்ந்த RNA வை ஒத்திருந்தது.

DNAவும் RNAவும் நியூக்ளிக் அமிலங்கள் எனப்படுகின்றன. இவை ப்யூரின் (Purines), பிரமிடீன் (Pyramidines) என்ற அங்ககப் பொருள்களாலானவை.

நியூக்ளிக் அமிலங்களின் அமைப்பு :

கிரிக்கும், வாட்ஸனும் DNAவில் அமைந்த ப்யூரின், பிரமிடீன் பொருள்களின் உருவ அமைப்பினை அறிய முனைந்தனர். வில்கின்ஸ் (Wilkins) என்பவர் அதில் காணப்படும் அணுக்களின் அமைப் பினை ஆய்ந்தார்.

நோபல் பரிசு பெற்ற லைனஸ் பாலிங் என்பவர், புரதங்கள் மிகப்பெரிய சுருள் சுருளான மூலக்கூறுகளாயிருப்பதைப் போல்,

DNA மூலக்கூறும் அமைந்திருக்கலாம் என்று கருதினர். அவர் கருத்து உண்மையாயிற்று.

DNAயின் அமைப்பும் இருப்பிடமும்

இதனை டீஆக்ஸிரிபோ நியூக்ளிக் அமிலம் (Deoxyribo—Nucleic acid) என்றழைக்கின்றனர்.

இந்த நியூக்ளிக் அமிலம் ஒவ்வொரு செல்லின் நியூக்ளியஸ்ஸிலும் காணப்படுகிறது. இங்கு நியூக்ளிக் அமிலம் நியூக்ளியோ புரதங்களாகக் காணப்படுகிறது என்கின்றனர். இந்நிலையில் இது ஹிஸ்டோன்களுடன் (Histones) அல்லது புரோடமைன்களுடன் சேர்ந்துள்ளது.

ஆனல் பாக்டீரியாவிலும், வைரஸ் (Virus)களிலும் (பொதுவாக பாக்டீரியாக்களைப் பீடிக்கும் வைரஸ்கள் : இவை பாக்டீரியோஃபேஜ்கள் என்றழைக்கப்படுகின்றன), DNA, இத்தகைய அடிப்படைப் புரதங்களோடு இணைந்திராமல் தனித்துக் காணப்படுகின்றன (எச். ரிஸ், பி. எல், சேன்ட்லர்).

இந்த உயிரிகளில் DNAவைக் கொண்ட நார்கள் (Fibres) 25°A குறுக்களவைப் பெற்றிருக்கின்றன.

சாதாரணக் குரோமோஸோம்கள் பல DNA இரட்டை இழைகளைப் பெற்றிருக்கின்றன என்று பீகாக் (Peacock 1963 அபிப்பிராயப்படுகிருர். ஆனல் ஒவ்வொரு குரோமாடிட்டிலும் (Chromatid) அவற்றின் சரியான எண்ணிக்கையை அறியமுடியவில்லை.

ஸ்பேர்ம் (Sperm) நியூக்ளியஸ்ஸில் அடிப்படையாக அமைந்த நுண்நார் (Fibril) புரோடமைன் (Protamine) சேர்க்கையோடு காணப்படுகிறது. இது சுமார் 40°A குறுக்களவுடையது. இது ஒரு DNA இரு இழைச் சுருளேயும், அடிப்படைப் புரதத்தையும் கொண்டிருக்கிறது (எச். ரிஸ், பி.எல். சேன்ட்லர்) 1964.

சிலவற்றில் இத்தகைய நுண்நார்களில் புரோடமைன் பொருளுக்குப் பதிலாக ஹிஸ்டோன்கன் காணப்படுகின்றன. இந்தப் பொருள் சேர்க்கையுள்ள நுண்நார்கள் இரு DNA இரட்டை இழைச் சுருள்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. இவை ஒன்றின் பக்கத்தில் மற்றென்ருக அமைந்து, ஹிஸ்டோனுடன் சேர்ந்து, 100°A குறுக்களவுள்ள நுண்நாராக அமைகின்றன.

ஒரு நியூக்ளிக் அமில மூலக்கூறை 98°Cக்கு உஷ்ணப்படுத்தினால், ஹைடிரஜன் இணைப்புகள் துண்டிக்கப்படுகின்றன; இதனால் DNAவில் காணப்படும் இரு இழைகள் தனித்தனியாகப் பிரிகின்றன. இவை தனித்தனி இழைகளாக இருக்கும்போது அல்ட்ராவயலட் ஒளியை (260 மில்லிமைக்ரான்—அலை நீளம்), 40%தத்திற்குமேல் ஈர்க்கின்றன, எனவே DNA தனித்தனியான இழைகளாகப் பிரிந்ததற்கு மேற்கண்ட செயலே உதவுகிறது. மேலும் எக்ஸ்ரே (X-ray) கதிர்களை உபயோகித்து DNA மூலக்கூறின் அமைப்பை அறியலாம்.

DNA பல நியூக்ளியோடைடுகளாலாகியது. ஒவ்வொரு நியூக்ளியோடைடிலும் மூன்று பகுதிகள் காணப்படுகின்றன.

1) ப்யூரின் அல்லது பிரமிடீன் காரம் (base)
2) ஐந்து கார்பன்கள் கொண்ட பென்டோஸ் எனப்படும் டீஆக்ஸிபென்டோஸ் சர்க்கரை
3) ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமிலம்.

இத்தகைய மூன்று பகுதிகளைக் கொண்ட நியூக்ளியோடைடுகள் ஒன்றுடன் மற்றொன்று 'சர்க்கரை—ஃபாஸ்ஃபேட்டு இணைப்பு இணைக்கப்பட்டுள்ளன. (படம் 12; 1)

இங்கு DNA இழைகளின் முதுகெலும்பாக, அடுத்தடுத்து வரும் சர்க்கரை, ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறுகள், அமைகின்றன. படத்தில் கண்டபடி ப்யூரின்களும் பிரமிடீன்களும் இணைந்த ஜோடிகளாகக் காணப்படுகின்றன. ப்யூரின் காரங்கள் என அழைக்கப்படுபவை இரண்டு.

1) அடினைன் (Adenine)
2) குவனைன் (Guanine),

பிரமிடீன் காரங்கள் மூன்று வகைப்படுகின்றன. அவற்றில் DNAவில் காணப்படுபவை இரண்டு வகைப்படுகின்றன.

(1) தைமீன் (Thymine)
(2) ஸைடோசீன்)Cytocine)

மேற்கண்ட இரு வகைப்பட்ட காரங்களும் பின்வரும் முறையில் இணைந்துள்ளன (படம்12.1)

அடினைன் — தைமீன்

குவனைன் — ஸைடோசீன்

இந்த ஜோடிகள் DNA மூலக்கூறில் காணும் முறையினைப் பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்.

—சர்க்கரை—ஃபாஸ்ஃபேட்டு—சர்க்கரை—ஃபாஸ்ஃபேட்டு—
சர்க்கரை—ஃபாஸ்ஃபேட்டு

| | |
அடினைன் குவனைன் சைட்டோசீன்
| | |
தைமீன் சைட்டோசீன் குவனைன்
| | |

—சர்க்கரை—ஃபாஸ்ஃபேட்டு—சர்க்கரை—
ஃபாஸ்ஃபேட்டு—சர்க்கரை—ஃபாஸ்ஃபேட்டு

படம் 12.1. நியூக்ளியோடைடுகள்

இங்ஙனம் பல நியூக்ளியோடைடு பகுதிகளைக் கொண்டிருப்பதால் DNA வை ஒரு பாலி நியூக்ளியோடைட் (Poly nucleotide) என்றழைக்கின்றனர். மேற்கண்ட இணைப்பில் ப்யூரின் பிரமிடீனுடன் இணைந்ததைத்தான் காண்கிறோம். ப்யூரின், ப்யூரீனுடன் இணைவதில்லை. பிரமிடீனும் மற்றொரு பிரமிடீனுடன் இணைவதில்லை இத்தகைய பல நியூக்ளியோடைட் அமைப்புகளைக் கொண்ட அமிலம் எங்ஙனம் முடிகிறது என்பது ஐயமாகவேயுள்ளது.

ஒரு சிலர் DNA மூலக்கூறு வட்டமாக இருப்பதாகக் கூறுகின்றனர். அவ்வாறெனில் இழைகள் எங்ஙனம் பிரிகின்றன ?

மனிதனின் ஸ்பெர்மில் (Sperm) காணப்படும் DNAவைப் பிரித்தெடுத்தனர். அதில் சுமார் 0.1% அமினோ அமிலங்கள் காணப்படுகின்றன. இதனால்சில பகுதிகளில் DNA மூலக்கூறுடன் அமினோ அமிலங்கள் இணைந்துள்ளன என்று கண்டுபிடித்தனர். மேலும் இவை மூலக்கூறுக்கு உட்புறத்தில் இணைந்திருக்கவேண்டும் என்று கருதுகின்றனர். அமினோ அமிலங்களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிட்டதில், சராசரியாக, சுமார் 1000 நியூக்ளியோடைடுகளுக்கு 3 அமினோ அமிலங்கள் காணப்படுகின்றன என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர்.

அமினோ அமிலம் DNA மூலக்கூறின் ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதிகளோடு இணைந்திருக்கிறது. இங்கு இவை DNA முதுகெலும்பின் கிளைகளாக அமையாமல், முதுகெலும்பின் சிறிய பகுதியாகவே அமைவதால், DNA மூலக்கூறின் முதுகெலும்பு அமைப்பில் இடைவெளிகள் தோன்றுகின்றன. இந்த இடைவெளிகளில் தான் அமினோ அமிலச் சங்கிலி வந்தமைகின்றது.

— சர்க்கரை —ஃபாஸ்ஃபேட்டு— | அமினோ அமிலம் |

| அமினோ அமிலம் | — | அமினோ அமிலம் | —ஃபாஸ்ஃபேட்டு

படம் 12.2. DNA–அமினோ அமிலக் கூட்டு

DNA இழைகள் பிரிந்து புதிய இரு இழைச் சுருள்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. ப்யூரின், பிரமிடீன் காரங்கள் தமக்குள்ளே இணையும் போக்கினை அடிப்படையாய் வைத்து, ஓர் இழை தன் ஜோடியான மற்றொரு இழையைத் தோற்றுவிக்கின்றது. இதில் ஓர் இழை, வார்ப்பு அச்சாகச் செயல் புரிந்து புதிய இழையைத் தோற்றுவிக்கின்றது. அத்தகைய திறத்தினால் அச்சுப் பிரதிகள் எடுப்பதைப் போன்று பரம்பரை பரம்பரையாக DNA மூலக்கூறின் அமைப்பும் எடுத்துச் செல்லப்படுகிறது. DNA மூலக் கூறுகள் மரபுக் குணங்களை வரையறுக்கின்றன என்று முன்னரே கண்டோம். இதனைச் செய்வதற்கான செய்திகள் அனைத்தும் DNAவில் அடங்கியுள்ளன. ஈஸெரிஸியா கோலை (Escherichia Coli) என்ற பாக்டீரியாக்களிலுள்ள DNA மூலக் கூறுகளைத் திரட்டி ஒரு தேக்கரண்டி அளவிற்கு எடுத்தால், அதில் காணப்படும் செய்தி, அண்மையில் உருவாகிய, 100 கன மைல்கள் கொள்ளளவுள்ள கம்ப்யூட்டர்களின் செய்தித்திறனைவிட அதிகமாகக் காணப்படுகிறது என்று கூறுகின்றனர். எனவே DNA மூலக் கூறின் நுண்ணிய அமைப்பில் (25°A) பல பெரிய செயல்களை ஊக்குவிக்கும் திறன் அடங்கியுள்ளது என்பது பெறப்படும். மனிதன், மாக்கள், தாவரங்கள் போன்ற அனைத்துயிரின் வாழ்க்கைக்கு DNA அடிப்படையாகின்றது. இவை புரதங்களோடு இணைந்திருப்பதையும் காண்க.

முன்னர் DNA, நியூக்ளியஸ்ஸில்தான் காணப்படுகின்றது என்று கருதினர். ஆனால் அண்மையில் நிகழ்த்திய ஆய்வுகளின் பயனாகப் புதிய குறிப்புகள் வெளியாகியுள்ளன. மைட்டோகோண்ட்ரியாக்கள் செல்லின் சைட்டோபிளாஸத்தில் காணப்படும் உறுப்புகள். இவைகளுக்குக் கதிரியக்க அமினோ அமிலங்களை அளித்தபோது, அவை புரதச் சேர்க்கை நிகழ்த்தின என்று கண்டுபிடித்தனர். மைட்டோகோண்ட்ரியாக்கள் நியூக்ளியஸ்ஸில் காணப்படும் DNA விலிருந்து வேறுபட்ட DNA வைக் கொண்டிருக்கின்றன எனக் கருதுகின்றனர்.

பசுங்கணிகங்களிலும் DNA இருப்பதாகவும் அவையும் புரதச் சேர்க்கை செய்யலாம் என்றும் கண்டுபிடித்துள்ளனர். எனவே DNA செல்லின் முக்கிய அம்சங்களில் காணப்படுவது குறிப்பிடத் தக்க தொன்றாகும்.

RNA அமைப்பும் இருப்பிடமும்

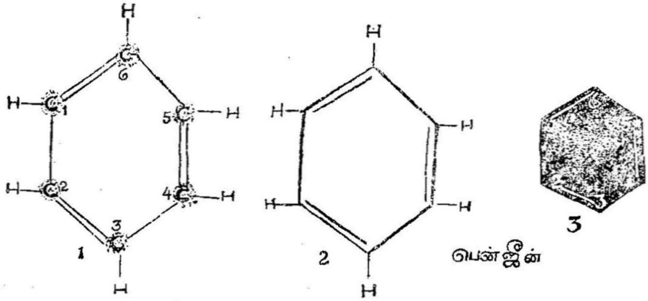
இதனை ரிபோ நியூக்ளிக் அமிலம் (Ribonucleic acid) என்றழைக்கின்றனர். DNA மூலக்கூறில் அமைந்ததைப்போல் இங்கும் பல நியூக்ளியோடைடுகள் காணப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு நியூக்ளியோடைடிலும் மூன்று பகுதிகள் காணப்படுகின்றன.

1) ப்யூரின் அல்லது பிரமிடீன் காரம்
2) பென்டோஸ் சர்க்கரையான ரிபோஸ் சர்க்கரை (Ribose)
3) ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமிலம்.

இங்கு அமைந்த ரிபோஸ் சர்க்கரையின் இரண்டாம் கார்பன் இணைப்பில் காணப்படும் ஹைடிராக்ஸில் பகுதிக்குப் பதிலாக DNA மூலக்கூறில் காணப்படும் சர்க்கரை ஒரு ஹைடிரஜன் அணுவையே கொண்டிருக்கிறது. எனவே DNA மூலக் கூறில் காணப்படும் சர்க்கரையை டீஆக்ஸி ரிபோஸ் (Deoxyribose) அல்லது ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணு நீக்கம் அடைந்த சர்க்கரை என்கின்றனர்.

ரிபோஸ் சர்க்கரை ஃபாஸ்ஃபேட்டுடன் இணைந்து ரிபோ நியூக்ளிக் அமிலத்தின் ஒரு நியூக்ளியோடைட் அமைப்பாகிறது. இத்தகைய பல நியூக்ளியோடைடுகள் இணைந்து RNAவின் முதுகெலும்பாய் அமைகின்றன.

RNA வில் காணப்படும் ப்யூரின்களும் பிரமிடீன்களும் பின்வருமாறு :

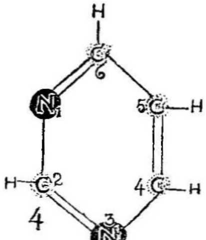


படம் 12.3. நைட்ரஜன் காரங்களின் அமைப்பும் பென்ஜீன் வளையமும்

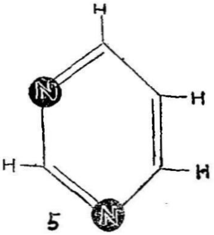
1. பென்ஜீன் மூலக்கூறு : இதில் 6 கார்பன்களும், 6 ஹைடிரஜன்களும் சேர்ந்து 6 பக்க வளையத்தை அமைத்துள்ளன. இங்கு மூன்று சாதாரண (ஒற்றை) இணைப்புப் பட்டைகளும், 3 இரட்டை இணைப்புப் பட்டைகளும் காணப்படுகின்றன.

2. பென்ஜீன் வளையமும், ஹைடிரஜன்களும்

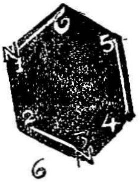
3. பென்ஜீன் வளையமும் கார்பன் அணுக்களின் குறியீட்டு எண்களும் (*1,2,3,4,5,6*).



4



5

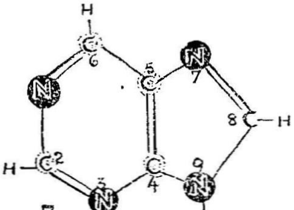


6

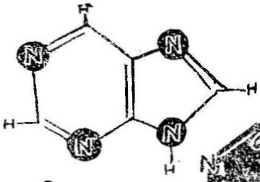
4. பிரமிடீன் மூலக்கூறு : வளையப் பகுதி பென்ஜீன் வளையத்தை ஒத்தது. ஆனால் 1, 3 கார்பன்களுக்குப் பதிலாக நைட்ரஜன் அணுக்கள் காணப் படுகின்றன. ஹைடிரஜன்களின் எண்ணிக்கை 4 எனக் குறைந் துள்ளது.

5. பிரமிடீன் மூலக்கூறின் வளையப்பகுதியும், நைட்ரஜன் அணுக்களும், ஹைடிரஜன் அணுக்களும்

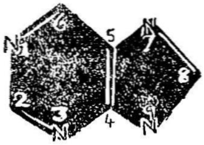
6. பிரமிடீனின் வளையப் பகுதியில் நைட்ரஜனும். கார்பன் அணுக்களின் குறி யீட்டு எண்களும்



7



8



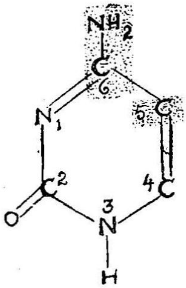
9

7. ப்யூரீன் மூலக்கூறு : இரு இணைந்த வளையங்களில் ஒன்று பென்ஜீன் வளைய அமைப்பை உடையது. மேற்கண்டபடி 1, 3 கார்பன்களுக்குப் பதிலாக ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் காணப்படுகின்றன. இரண்டாவது வளையத்தில் 7, 9 கார்பன்களுக்குப் பதிலாக நைட்ரஜன்கள் உள்ளன.

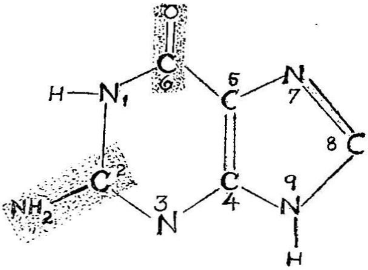
8. இரு வளையங்களும், நைட்ரஜன்களும் (4), ஹைடிரஜன்களும் (4).

9. இரு வளையங்களும் நைட்ரஜன், கார்பன் அணுக்களின் குறியீட்டு எண்களும்

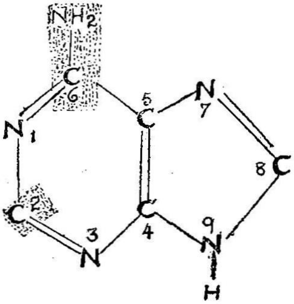
பிரமிடீன்கள் ப்யூரீன்கள்



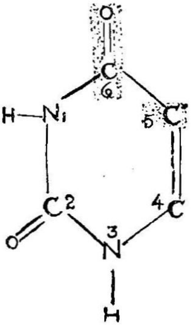
சைடோசீன்



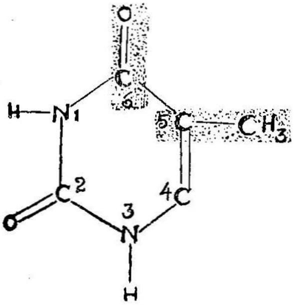
குவனீன்



அடினீன்



யூராசில்



தைமீன்

படம் 12.4. ப்யூரீன் பிரமிடின வகைகள்

1. பிரமிடீன்கள் : 1,2,3,4,5,6 = வளையத்தில் அமைந்த கார்பன், நைட்ரஜன் அணுக்களின் குறியிட்டு எண்கள்.

⁚ ⁚ = புள்ளியிட்ட செவ்வகப் பகுதிகள், 5, 6 கார்பன்களின் இணைப்புகளைக் குறிக்கின்றன. மற்ற அணுக்களில் மாற்றம் இல்லை. அவை ஸைடோசீன், தைமீன், யூராசில் என்ற எல்லா பிரமிடீன்களிலும் ஒரே இணைப்புத் தன்மையைக் கொண்டிருக்கின்றன. ஆனால் கார்பன் 5-ம், 6-ம் வெவ்வேறு அணுக்களின் சேர்க்கையோடு காணப்படுகின்றன.

பிரமிடீன்	5-ம் கார்பன்	6-ம் கார்பன்
ஸைடோசீன்	(H) ஹைடிரஜன்	அமினோ பகுதி (NH_2)
தைமீன்	(CH_3) மீதைல் பகுதி	ஆக்ஸிஜன் (O)
யூராசில்	(H) ஹைடிரஜன்	ஆக்ஸிஜன் (O)

2. ப்யூரீன்கள் : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 = இரு வளையப் பகுதிகளில் உள்ள கார்பன், நைட்ரஜன் அணுக்களின் குறியீட்டு எண்கள்.

⁚ ⁚ = புள்ளியிட்ட செவ்வகப் பகுதிகள், 2, 6 கார்பன்களின் இணைப்புகளைக் குறிக்கின்றன. மற்ற அணுக்கள் ப்யூரீன் வகைகள் இரண்டிலும் ஒரே இணைப்புத் தன்மையைக் கொண்டிருக்கின்றன.

ப்யூரீன்	2-ம் கார்பன்	6-ம் கார்பன்
குவனீன்	அமினோ பகுதி (NH_2)	ஆக்ஸிஜன் (O)
அடினீன்	ஹைடிரஜன் (H)	அமினோ பகுதி (NH_2)

ப்யூரின்கள்	பிரமிடீன்கள்
1) அடினீன்	1) யுராசில் (Uracil)
2) குவனீன்	2) ஸைடோசின்

இங்கு பிரமிடீன் காரங்களில் யுராசில் என்ற பொருள் காணப் படுகிறது. ஆனல் DNAவில் தைமீன் காணப்படுகிறது. எனவே அடினனுடன் யுராசில் இணைகிறது.

அடினன்	குவனின்
|	|
யுராசில்	சைடோசீன்

DNAவைப்போல் RNA மூலக்கூறும் சுருளாக அமைகின்றது என்று கருதுகின்றனர். DNA, RNA மூலக்கூறை உற்பத்தி செய்யலாம் என்று கருதுகின்றனர். இதனை RNA டிரான்ஸ் கிரிப்ஷன் (RNA transcription) என்றழைக்கின்றனர். இதனைப் பற்றி பல ஐயப்பாடுகள் உள்ளன. DNA மூலக்கூறு இரண்டு இழைகளாகப் பிரிந்து, பிரிந்த பகுதிகள் வார்ப்பு அச்சாக அமைந்து அங்கு ப்யூரின்களும் பிரமிடீன்களும் வந்து பொருந்து கின்றன என்பது ஒரு சாராரின் கருத்து,— (படம் 12.8)

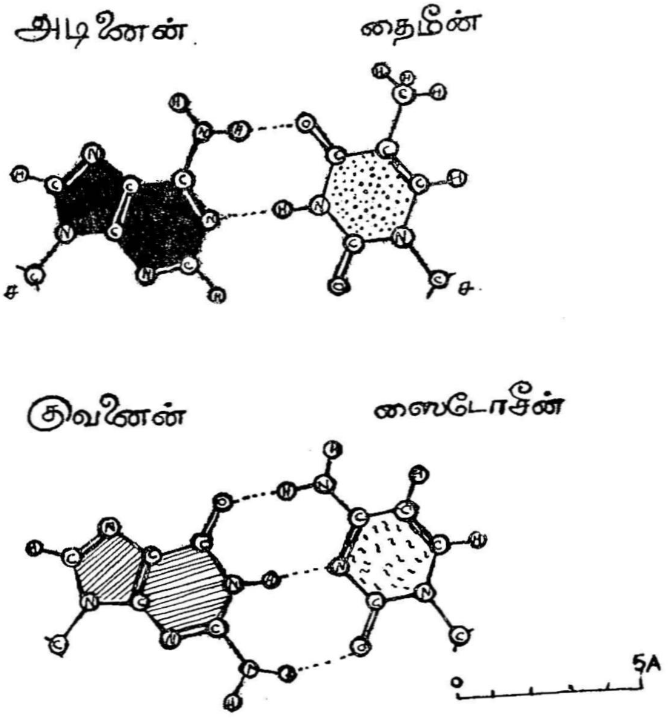
DNA மூலக்கூறின் பள்ளங்களிடையே வந்தமையும் காரங் கள், மூலக்கூறு திருகிக் கொள்வதன் மூலம் கோர்க்கப்பட்டு RNA தோன்றுகின்றது என்றும் சிலர் கூறுகின்றனர்.

வாட்ஸனும், கிரிக்கும் அளித்த DNA மூலக்கூறின் அடிப் படை அமைப்பே இன்று சில விவரங்களுக்குப் பொருந்தாது போகின்றது. எனவே அத்தகைய அமைப்பினை வைத்துக்கொண்டு RNA மூலக் கூறைக் கட்டுதல் மிகவும் அரிதாகும். அண்மையில் இத்தகைய கண்ணோட்டம் நிலவி வருகிறது.

ரிபோநியூக்ளிக் அமில மூலக்கூறு இரு இழைச் சுருளாக இராமல் ஓர் இழையாகவே உள்ளது. ஆனல் அது பின்னிக் கொண்டு காணப்படும். இங்ஙனம் பின்னிக்கொண்டு காணப் படும் அமைப்பில் ப்யூரினும், பிரமிடீனும் எதிர் எதிராக வரும்போது அவற்றிடையே ஹைடிரஜன் இணைப்புகள் தோன்றலாமென்று கருதுகின்றனர். (படம் 12.5)

RNAக்கள் பல வகைகளாகச் செல்லின் பல பகுதிகளிலும் வியாபித்திருக்கின்றன. அவை பின்வருமாறு :—

1) அஞ்சல் RNA (Messenger RNA or RNA)
2) மாற்று RNA (transfer or adaptor for RNA or Soluble RNA or s RNA)
3) ரிபோஸோம் RNA



படம் 12.5. நைட்ரஜன் காரங்களின் ஜோடிகள்

அடினைனும் தைமீனும் இணையும்போது இரு ஹைடிரஜன் இணைப்புப் பட்டைகள் தான் காணப்படுகின்றன.

ஓர் இணைப்புப்பட்டை ஆக்ஸிஜனையும் (O), அமினோ (NH_2) பகுதியையும் இணைக்கிறது.

மற்றொரு இணைப்புப்பட்டை (NH) என்ற தைமீன் பகுதியையும் நைட்ரஜனை (N) (அடினைனின் பகுதி)யும் இணைக்கிறது. குவனைன் சைட்டோசீன்களுக்கிடையே மூன்று ஹைடிரஜன் இணைப்புப்பட்டைகள் இருப்பதைக் காண்க. DNH: (சைட்டோசீன் பகுதி) O (குவனைனின் பகுதி)வுடன் இணைதல்.

அஞ்சல் RNA

பிரென்னர் (Brenner) 1961-ல், ரிபோசோம்களில் புரதச் சேர்க்கை நிகழ்ந்த போதும் அதற்கான செய்தியைக் கொண்டு

வரும் அம்சங்கள் இருக்க வேண்டும் என்று கருதினர். DNA, புரதங்களின் அமைப்பை வரையறுக்கிறது என்று பார்த்தோம் அது மேற்கண்ட, செய்தியைக் கொண்டுவரும் பொருள்களின் அமைப்பின் மூலம் இதனைச் செய்கின்றது.

இத்தகைய இடைப்பொருள் அஞ்சல் RNA (Messenger RNA or m RNA) என்றழைக்கப்பட்டது.

அஞ்சல் RNAக்கள் நியூக்ளியஸ்ஸில் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன. DNAவை வார்ப்பு அச்சாகக் கொண்டு இந்த RNA தயாரிக்கப்படுகிறது. பின்னர் இது சைடோபிளாசத்தை அடைகின்றது. நியூக்ளியஸ்ஸிலிருந்து இவை, நியூக்ளியஸ் உறைச் சவ்வின் 'துவாரங்கள்' வழியே வருகின்றன என்று கூறுகின்றன. எலெக்ட்ரான் நுண்ணோக்கியின் வழியாகக் காணப்படும் துவாரங்கள் உயிருடன் இயங்கும் செல்லிலும் காணப்படுகின்றனவா என்பது தெளிவாகவில்லை.

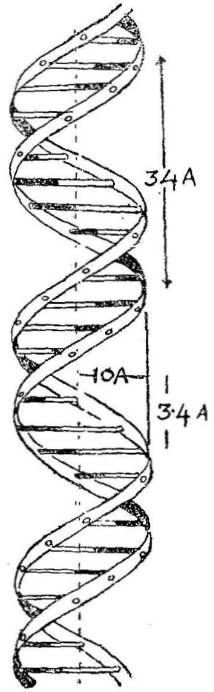
$_m$RNA-வின் உற்பத்தி DNA-ஆல் சாத்தியமாகிறது (படம் 12.6) நியூக்ளியஸ்ஸில் சாதாரணமாக DNA-வைச் சார்ந்த RNA பாலிமெரேஸ் (DNA-dependent RNA poly-merase) காணப்படுகிறது. இது $_m$RNA வின் உற்பத்திக்கு ஊக்கியாக அமைகிறது. செயற்கையாக $_m$RNA-வைத் தோற்றுவித்தனர். இதற்கு செல்லில் காணப்படும் DNA தேவைப்படுகிறது மேலும் RNA-வில் காணப்படும் நான்கு ப்யூரின்-பிரமிடீன் காரங்களின் சர்க்கரைக் கூட்டுப் பொருள்களான ரிபோஸைடுகளின் (ப்யூரின் அல்லது பிரமிடீன் காரங்களோடு சர்க்கரை இணைந்த அமைப்பு), ஃபாஸ்ஃபேட்டுக் கூட்டுப் பொருள்களும் தேவைப்படுகின்றன. இந்த ரிபோஸைடு ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் பின்வருமாறு :—

1) அடினேசின் டிரைஃபாஸ்ஃபேட்டு (ATP)

2) குவனேசின் டிரைஃபாஸ்ஃபேட்டு (GTP)

3) ஸைடோசீன் டிரைஃபாஸ்ஃபேட்டு (CTP)

4) யுரிடீன் டிரைஃபாஸ்ஃபேட்டு (UTP)



படம் 12.6. DAN-வின் இரு இழை

பல நியூக்ளியோடைடுகள் அமைந்த இரு இழைகள் பின்னிக்கொண்ட சுருள் வடிவில் தோன்றுகின்றன. குறிப்பிட்ட ப்யூரின்–பிரமிடீன் ஜோடிகள் காணப்படுகின்றன. படத்தில் ஏணியின் படிகள் மேற்கண்ட பயூரீன் பிரமிடீன் ஜோடிகளைக் குறிப்பிடுகின்றன. இத்தகைய நைட்ரஜன் காரங்களின் ஜோடிகளைக் குறிப்பிடும் வகையில் ஒவ்வொரு ஏணியின் படியிலும், பாதிப் பகுதி கருப்பாகவும் எஞ்சிய பகுதி வெள்ளையாகவும் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

நியூக்ளியஸ்ஸின் சூழ்நிலையற்ற நிலையில் DNA-வின் இரு இழைகளும் தேவைப்படுகின்றன. DNA-வை வார்ப்பு அச்சாகக் கொண்டு மேற்கண்ட ரிபோஸைடு டிரை ஃபாஸ்ஃபேட்டுக்கள் அவற்றிற்குரிய இடத்தில் வந்து பொருந்துகின்றன.

RNA	யுராசில்	ஸைடோசீன்	குவனைன்	அடினைன்	குவனைன்
DNA	அடினைன்	குவனைன்	ஸைடோசீன்	தைமீன்	ஸைடோசீன்

படம் 12.8. DNA வார்ப்பு அச்சு

அஞ்சல் RNA இழை சுமார் 33,000°A நீளமிருக்கலாம்எனக் கணக்கிட்டுள்ளனர். அது TMV எனப்படும் புகையிலைச் செடிகளைப் பீடிக்கும் வைரஸில் காணப்படுகிறது;

ஈஸரீஸியா கோலை பாக்டீரியாக்களில் பல ஆய்வுகளை நிகழ்த்தியுள்ளனர். குறிப்பாக அவற்றைப் பீடிக்கும் வைரஸ்களின் RNA மூலக் கூறுகளும் அவற்றைப் பெருக்கும் RNA பாலிமரேஸ் (RNA-polymerase) நொதிகளும், $_m$RNA-வைப்பற்றிய பல விவரங்களைத் தெளிவாக்கியுள்ளன.

அஞ்சல் RNA-க்கள் நியூக்ளியஸ்ஸிலிருந்து சைடோபிளாசத்தை வந்தடைகின்றன. அங்கு ரிபோஸோம்களோடு தொடர்பு கொள்ளுகின்றன.

ரிபோஸோம் RNA

ரிபோஸோம்கள் மிகப் பெரிய அளவில் காணப்படும்போது 180-240°A அளவே இருக்கின்றன. இவை 33,000°A அளவுள்ள அஞ்சல் RNA-க்களுடன் தொடர்புகொள்வது எங்ஙனம்?

1965-ல் தகனுமி (Takanami) என்பவரும் அவர் சகாக்களும் ஈ-கோலை (E-cole) பாக்டீரியாவில் காணப்பட்ட ரிபோஸோம்—வைரஸ் $_m$RNA தொகுப்பில், $_m$RNA-வும் ரிபோஸோமும், ஒன்றை ஒட்டி மற்றொன்று அசைவதைத் தெரிவித்தனர். இதனுல் ரிபோஸோம்களின்மேல் $_m$RNA இழை நகருகின்றது என்பது பெறப்படும். குரோமோஸோம்களிலும் RNA காணப்படுகிறது. இங்ஙனம் புதிதாகத் தோன்றிய RNA குரோமோஸோம்களை விட்டகன்று புதிய ரிபோஸோம்களைத் தோற்றுவிக்கின்றது. இத்தகைய RNA எங்ஙனம் ரிபோநூக்ளியோ புரதமாக (Ribonucleo protein) உருவெடுக்கின்றது என்பது தெளிவாகத் தெரியவில்லை. மைக்ரோஸோம்கள் என அழைக்கப்படுபவை இரு பகுதிகளைக்கொண்டிருக்கின்றன என்று கண்டுபிடித்தனர்.

1) என்டோபிளாஸ்மிக் வலையின் சவ்வுப் பகுதி.

2) ரிபோஸோம்.

சீகிவிட்ஸ் (Sekevitz) பேலேட் (Palade) என்ற இருவர், புரதச் சேர்க்கையில் பங்குகொள்ளும் பகுதிகள் ரிபோஸோம்களாயிருந்த போதும், சவ்வுடன் (என்டோபிளாஸ்மிக் வலைப்பகுதி) இணைந்த ரிபோஸோம்களே புரதச் சேர்க்கை செய்கின்றன என்று காண்பித்தனர்.

1958-ல் டிஸ்ஸியர்ஸ் (Tissieres) ஜே-டி-வேட்ஸன் (J. D. Watson) என்ற இருவரும் ஈகோலை பாக்டீரியாவிலிருந்து ரிபோஸோம் களைப் பிரித்தெடுத்தனர். ரிபோஸோம்களில் காணப்படும் RNA செல்லின் உலர் எடையில் 22% எனக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. எனவே இது செல்லின் மொத்த RNA-வில் 90% ஆகிறது. மேலும் இவைகளுடன் 37%-த்திற்குப் புரதம் அமைந்திருப்பதால் வளரும் செல்லில் இவை $\frac{1}{3}$ பங்காக அமைகின்றன. பாக்டீரியாவிலிருந்து பிரித்தெடுக்கப்பட்ட இவற்றை RNP துகள்கள் (Ribonucleoprotein particles) என்றும் அழைக்கின்றனர். இவற்றின் மூலக்கூறு எடை $2{\cdot}6 \times 10^6$ என்று கணக்கிடுவர். மேலும் இது ரிபோநூக்ளியேஸ் என்ற புரதத்தால் செரிக்கப்படுவதில்லை.

இங்ஙனம் பிரித்தெடுக்கையில் மக்னீஸியத்தின் செரிவு குறைவாகக் காணப்படும்போது இவை இரு பகுதிகளாகப் பிரிகின்றன. ஒன்றை 51_s சிறு அலகு என்றும் மற்றொன்றை 32_s சிறு அலகு என்றும் அழைக்கின்றனர். 51_s-ன் மூலக் கூறு எடை $1{\cdot}8 \times 10^6$ என்றும் 32_s-ன் மூலக் கூறு எடை 800,000 என்றும் கணக்கிட்டுள்ளனர். மேற்கண்ட ஒவ்வொரு பகுதியிலும் குறிப்பிட்ட முறையில் மடிந்து காணப்படும் ரிபோநியூக்ளியோ புரத இழை காணப்படுவதாகக் கூறுகின்றனர். இந்த அமைப்பில் புரதத்தின் சிறு அலகுகள் நீண்ட RNA இழையுடன் இணைந்திருப்பதாகக் கருதுகின்றனர்.

இங்ஙனம் புரதச் சேர்க்கையில் ஈடுபடும் RNP துகள்கள் (ரிபோஸோம்கள்) சில நூக்ளியஸ்ஸிலும், சில பசுங்கணிகங்களிலும் காணப்படுகின்றன.

கிளார்க் என்பவரும் அவர் சகாக்களும் 1964-ல் சைனீஸ்கேபேஜில் (Chinese cabbage) காணப்படும் இலைகளில் 2 வகைப்பட்ட RNP துகள்கள் இருப்பதாகத் தெரிவித்தார். இவை புரதச் சேர்க்கையில் ஈடுபட்டதையும் அவர் காண்பித்தார்.

முன்னர் ஈ-கோலை ரிபோஸோம்கள் பிரித்தெடுக்கப்பட்டதைக் கண்டோம். ஹக்ஸ்லியும் ஜூபேயும் (Huxley & Zubey 1960) இத்தகைய ரிபோஸோம்களை எலெக்ட்ரான் நுண்ணோக்கியால் ஆராய்ந்தனர். ரிபோஸோம்களில் ஒரு பெரிய பிளவு இருப்பதை அவர்கள் கண்டனர். மேலும் அந்தப் பிளவு ரிபோஸோம்களை இரண்டு பகுதிகளாகப் பிரிக்கின்றது. கூடாரத்தைப்போன்ற ஒரு பெரிய பகுதி (குறுக்களவு 140-160°A) யும், ஒரு சிறிய தட்டையான பகுதியும் (குறுக்களவு 70°A) காணப்பட்டன. மேற்கண்ட பெரிய பகுதி 50_s என்றழைத்த அலகுகளுக்கு உட்பட்ட அளவில் காணப்

படுகிறது. அதன்மேல் பொருந்திய சிறிய தட்டையான பகுதி 30s சிறு அலகுகளுக்கு உட்பட்ட அமைப்பில் காணப்படுகிறது. இவையிரண்டும் சேர்த்து 700 துகளை உருவாக்குகின்றன. அதனுடைய குறுக்களவு 140-180°A ஆகும்.

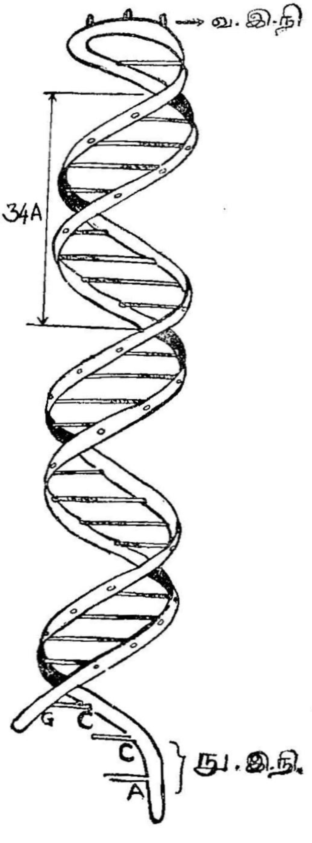
பாலி ரிபோஸோம்கள்

பல ரிபோஸோம்கள் புரதச் சேர்க்கையை நிகழ்த்தும்போது கூடும் அமைப்பே பாலி ரிபோஸோம் (Poliribosome) என்றழைக்கப்படும். mRNA இழையின்மேல் ரிபோஸோம்கள் அடுத்தடுத்துக் காணப்படுகின்றன. ரிபோஸோம்களின் சிறு அலகுகளுக்கிடையே உள்ள பிளவில் mRNA இழை பொருந்தியிருக்கிறது என்றும், இது ஒவ்வொரு ரிபோஸோம்களின் வழியாகச் செல்லுகிறது என்றும் கூறுகின்றனர். என்டோபிளாஸ்மிக் வலைச் சவ்வின்மேல் அமைந்த பாலிரிபோஸோம் அமைப்புகள், இந்தச் சவ்வு சூழ் பள்ளங்களிலும் பொருந்தலாம் என்று கருதுகின்றனர். மேற்கண்ட ஆய்வுகள் விலங்கினத்தின் திசுக்களைச் சார்ந்தவை. ஆனால் தாவரங்களிலும் இத்தகையதொரு நிலை காணப்படலாம் எனக் கருதுகின்றனர். ஏனெனில் மேற்கண்ட என்டோபிளாஸ்மிக் வலை, சில பள்ளங்கள் (Cisternae), பாலி ரிபோஸோம்கள் போன்றவை தாவர செல்களிலும், விலங்கின் செல்களிலும் காணப்படுகின்றன.

மாற்று RNA (Transfer RNA or Soluble RNA or Adapter RNA)

சைடோபிளாசத்தில் ரிபோஸோம்களில் காணப்படும் RNA-வைத் தவிர மற்றொரு வகை RNA-க்கள் காணப்படுகின்றன. இதன் மூலக்கூறு எடை சுமார் 18,000 இருக்கலாம் என்றும் அதில் 67 நியூக்ளியோடைடுகள் காணப்படலாம் என்றும் கருதுகின்றனர். இந்த RNA, IM சோடியம் குளோரைடு கரைசலில் கரையும். ஆனால் ரிபோஸோம்களில் காணப்படும் RNA அங்ஙனம் கரையாது. எனவே இதனைக் கரையக்கூடிய RNA (Soluble RNA) என்றும் அழைக்கின்றனர். இந்த RNA-வும் நியூக்ளியஸ்ஸில் உற்பத்தியாகலாம். அமினோ அமிலங்கள் இத்தகைய RNA மூலக்கூறுகளால் கடத்தப்பட்டு ரிபோஸோம்களுக்கு மாற்றப்படுகின்றன. எனவே இவற்றை மாற்று RNA (Transfer RNA) என்றும் அழைப்பர். கதிரியக்க அமினோ அமிலங்களை உபயோகித்து நிகழ்த்திய ஆய்வுகளில், அவை தனித்தனியாக RNA மூலக் கூறுகளால் கடத்தப்படுவதை அறிந்தனர். இந்த RNA மூலக்கூறுகள் பின்னிக்கொண்டு காணப்படுகின்றன. இவற்றின் இரு நுனிகள் ஒரே பக்கத்தில் காணப்படுகின்றன. ஒரு நுனி குவனைன் நியூக்ளியோடைடில் முடிவடைகிறது. மற்றொன்று 'சைடோசீன்-சைடோசீன்-அடினைன்' (—C—C-A) என்ற நியூக்ளியோடைடுகளில் முடிவடை

கின்றது. எக்ஸ்ரே கதிர்களை உபயோகித்துப் பரிசோதித்ததில் இவை பின்னிக்கொண்ட இரு இழைச் சுருளாகத் தோற்றமளிக்கின்றன (படம் 12.7). பின்னிக்கொண்ட பகுதிகளில் நைட்ரஜன்



படம் 12.7. மாற்று RNA

வ. இ. நி. = வளைந்த பகுதியில் இணையாத நியூக்ளியோடைடுகள்
நு. இ. நி. = நுனியில் இணையாத நியூக்ளியோடைடுகள்
G = குவனைன்
C = சைட்டோசீன்
A = அடினைன்
C. C. A. = சைட்டோசீன்—சைட்டோசீன்—அடினைன் என்ற நுனிப் பகுதிதான் அமினோ அமிலத்துடன் இணைகிறது.
34-A முப்பத்திநான்கு ஆம்ஸ்ட்ராங் அளவு

பேஸ்களாகிய ப்யூரின்களும் பிரமிடீன்களும் எதிரெதிராக வரும் போது அவை ஹைடிரஜன் இணைப்புக்களை உருவாக்குகின்றன. இவற்றில் இங்ஙனம் இணைப்புக்கள் இல்லா நியூக்ளியோடைடுகள் படத்தில் கண்டபடி மூலக்கூறுக்கு 'தலைப்பகுதி'யிலும் இழையின் இரு நுனிகளிலும் உள்ளன. ஒவ்வொரு மாற்று RNA-வும் ஒன்றை ஒன்று ஒத்திருக்கின்றன. இவை சுமார் 100°A நீளமும், 20°A அகலமும் உடையன. உள்ளமைப்பில் இவை வேறுபடுகின்றன. ப்யூரின், பிரமிடீன் பேஸ்களின் எண்ணிக்கை, அவை ஒன்றை யடுத்து ஒன்றாக அமைந்த இருப்பிடங்கள் முதலிய அம்சங்களில் மாற்றம் காணப்படுகிறது. சுமார் 20 வகைப்பட்ட மாற்று RNA-க்கள் உள்ளன என்று கருதுகின்றனர். எனவே 20 அமினோ அமில வகைக்கு ஏற்றவாறு 20 வகை மாற்று RNA-க்கள் உள்ளன என்பது பெறப்படும். ஒவ்வொரு அமினோ அமிலத்தைக் கடத்துவதற்கு, அதற்கென்க் குறிப்பிட்ட RNA உள்ளது. RNA அமினோ அமிலக் கூட்டினைத் தயாரிப்பதற்கு ஒவ்வொரு அமினோ அமிலமும் முதற்கண் கிளர்த்தப்பட வேண்டும். இதற்கு ATP தேவைப்படுகிறது.

1) அமினோ அமிலம் + ATP ⇄ அமினோ அமில அடினிலேட் + பைரோ ஃபாஸ்ஃபேட்டு

(Amino acid + ATP ⇄ Amino acid adenylate + pyro phosphate)

இங்கு ATP மூலக்கூறு சிதைவுற்று AMP-யாகவும், பைரோ ஃபாஸ்ஃபேட்டு எனப்படும் 2 ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறு தொகுப்பாகவும் பிரிகிறது. AMP-ஐ அடினிலிக் அமிலம் (அடினிலேட்) என்று கூறுவர்.

2) பின்னர் அமினோ அமில அடினிலேட் மாற்று RNA-வோடு இணைகிறது.

மாற்று RNA + அமினோ அமில அடினிலேட் ⇄ அமினோ அசைல்-மாற்று RNA + அடினிலிக் அமிலம்

($_t$RNA + Amino acid adenylate ⇄ Aminoacyl-$_t$RNA Adenylic acid)

அமினோ அமிலம் கிளர்த்தப்படும் கிரியையிலும், அது மாற்று RNA-வோடு இணையும் கிரியையிலும் ஊக்கியாக வினைபுரிவது ஒரே நொதி என்று தெரிகிறது. ஒவ்வோர் அமினோ அமிலம் அடையும் மேற்கண்ட கிரியைகளுக்கு அதற்கென அமைந்த நொதிகள் காணப்படலாம். எனவே 20 வகைப்பட்ட இத்தகைய நொதிகள் தேவைப்படுகின்றன. இந்த நொதிகளைப் பொதுவாக அமினோ

அசைல் RNA-ஸின்தடேஸ் (Aminoacyl RNA synthetase) என்றழைக்கின்றனர். பின்னப்பட்ட மூலக்கூறின் தலைப் பகுதியில் இணையாத ப்யூரின், பிரமிடீன் நியூக்ளியோடைடுகள் காணப்படுகின்றன என்று பார்த்தோம். இவை சான்றாக 'ஸைடோசீன்-அடினைன்-ஸைடோசீன் என்ற நியூக்ளியோடைடுகளைக் கொண்டிருப்பதாகக்கொண்டால் இந்த மாற்று RNA, mRNA இழையில் அதற்கு நேர் எதிர் சங்கேதம் (Code) என அமைந்த 'குவனைன்-யுராசில்-குவனைன்' பகுதியில் வந்து ஹைடிரஜன் இணைப்புக்களை ஏற்படுத்தும்.

ஜீன்களின் சங்கேதம்

1954-ல் கேமாவ் (Gamow) ஒரு கருத்தினைத் தெரிவித்தார். அமினோ அமிலங்களின் தொடரை நிச்சயிக்க நியூக்ளிக் அமிலங்களில் ஒரு சிறப்பான அமைப்பு இருக்க வேண்டும் என்று அவர் கருதினர். இந்த அமைப்பை மூவ்வெழுத்துச் சங்கேதம் (Triplet Code) எனக் குறிப்பிட்டார். அதாவது, மூன்று நியூக்ளியோடைடுகளைக் கொண்ட தொடராகும் DNA மூலக்கூறினை எடுத்துக்கொண்டு அங்குக் காணப்படும் நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடரை மூவ்வெழுத்துக் குழுக்களாகப் பகுத்துக் கொள்ள வேண்டும். குறிப்பாக DNA மூலக்கூறில் கண்டுள்ள குவனைன் — அடினைன் — ஸைடோசீன் — ஸைடோசீன் — அடினைன் — குவனைன் என்ற தொடரை கு—அ—ஸை என்றும் ஸை—அ—கு என்றும் இரு பகுதிகளாகப் பிரித்தால், ஒவ்வொன்றிலும் மூன்று நியூக்ளியோடைடு அடங்கிய பகுதிகளைக் காணலாம்.

கேமாவைத் தொடர்ந்து சுமார் எட்டு ஆண்டுகள் வரை சங்கேத ஆராய்ச்சியில் ஈடுபட்டனர். மேற்கண்டபடி அமைந்த நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடருக்கு நேர் எதிராக அமைந்த சங்கேதமே mRNA இழைகளாயிற்று. இந்த சங்கேதத்தில் அமினோ அமிலங்களின் தொடருக்கான செய்தி அடங்கியுள்ளது.

மாற்று RNAக்களில் காணப்படும் வளைவில் (Bend) மூன்று நியூக்ளியோடைடுகள் இணையாமல் காணப்படுவதை முன்னரே கண்டோம். அந்தப் பகுதியானது அஞ்சல் RNA இழையில் அதற்கு நேர் எதிர் சங்கேதமாக அமைந்து மூன்று நியூக்ளியோடைடுகளின் ஹைடிரஜன் இணைப்புகளை ஏற்படுத்துகிறது. சான்றாகப் பின்வரும் அமைப்பினை ஆய்வோம்.

மாற்று RNAவின் வளைந்த பகுதியில் ஸைடோசீன் — குவனைன் — அடினைன் என்ற நியூக்ளியோடைடுகள் அமைந்துள்ளன என்று வைத்துக் கொண்டால், இந்த ஸை-கு-அ மூவ்வெழுத்து சங்கேதத்திற்கு நேர் எதிர் சங்கேதம் கு-ஸை-யூ

(அல்லது) குவனைன்—சைடோசீன்—யூராசில் என்ற நியூக்ளியோடைடு அமைப்புகள் என்று குறிப்பிடலாம். இத்தகைய மும்மெழுத்தின் மேல் பொருந்துமாறு மாற்று RNAவின் மும்மெழுத்து சங்கேதம் அமைகிறது.

அமினோ அமிலங்களை ஏற்றுவருவன இத்தகைய மாற்று RNAக்கள். மாற்று RNAக்கள் அஞ்சல் RNAவிலுள்ள செய்தியை அவற்றிலுள்ள மும்மெழுத்துச் சங்கேதங்களின் தொடரை அறிவதன் மூலம் புரிந்து கொள்ளுகின்றன. ஒரு தொடரில் சுமார் முந்நூறு நியூக்ளியோடைடுகள் உள்ளன என்று கொள்வோம். அப்போது, அதில் ஒரு நூறு அமினோ அமிலங்களைச் சேர்ப்பதற்கான மும்மெழுத்துச் சங்கேதங்கள் உள்ளன என்று அறியலாம்,

1961-ல் நைரன்பெர்க் (Nirenberg), மேதாயி (Mattai) என்ற இருவர் ஈகோலை பாக்டீரியாவிலிருந்து பிரித்தெடுத்த பொருள்களிலிருந்து, புரதச் சேர்க்கையை நிகழ்த்தினர். இதற்கென ATP, 20 வகை அமினோ அமிலங்கள், 3 வகை RNAக்கள் (அஞ்சல் RNA, ரிபோஸோம் RNA, மாற்று RNA), முதலியன தேவைப்பட்டன. இங்கு அவர்கள் உபயோகித்த அஞ்சல் RNAவை செயற்கையாகத் தயாரித்தனர். இதில் யூராசில் என்ற நைட்ரஜன் பேஸ் மட்டும்தான் காணப்பட்டது.

யூராசில் | யூராசில் |
—சர்க்கரை—ஃபாஸ்ஃபேட்டு — சர்க்கரை—ஃபாஸ்ஃபேட்டு

யூராசில் | யூராசில் |
—சர்க்கரை—ஃபாஸ்ஃபேட்டு — சர்க்கரை—ஃபாஸ்ஃபேட்டு

படம் 12.9

இதனை வார்ப்பு அச்சாகக் கொண்டு புரதச் சேர்க்கையை நிகழ்த்தியபோது, ஃபீனைல் அலனைன் (Phenyl alanine) என்ற அமினோ அமிலம் மட்டும் அமைந்த பல பெப்டைடு இணைப்புகள் தோன்றின.

— ஃபீனைல் அலனைன் — ஃபீனைல் அலனைன் — ஃபீனைல் அலனைன்.—

எனவே ஒருவகைப்பட்ட (யூராசில்) பிரமிடீன்களைக் கொண்ட அஞ்சல் RNA, ஒரே வகைப்பட்ட அமினோ அமிலத்தைச் சேர்த்து உண்டாக்கும் புரதத்தின் அமைப்பிற்கான சங்கேதத்தைப் பெற்றிருக்கின்றது என்பது தெளிவாகியது. எனவே ஃபீனைல் அலனைன் அமிலத்திற்கான சங்கேதம் 'யூரா—யூரா—யூரா' என்ற மூன்று நியூக்ளியோடைடுகள் அமைந்த யூயூயூ மும்மெழுத்து எனப்பட்டது.

மேற்கண்ட முதல் முயற்சிக்குப் பின்னர் நிகழ்த்திய பரிசோதனைகளில் எஞ்சிய 19 வகை அமினோ அமிலங்களுக்கு அமைந்த சங்கேதங்களையும் கண்டறிந்தனர். அவற்றைப் பின் அட்டவணையில் காண்க. இங்கு ப்யூரின் பிரமிடீன்களின் முதலெழுத்தை மட்டும் குறிப்பிடுகின்றனர்.

அமினோ அமிலங்கள்	யூராசில் அல்லது 'யூ' அமைந்த சங்கேதங்கள் (U-Codons)	யூராசிலைத்தவிர (சைஸ்டோபின், குவனைன் (கு), அடினைன் (அ) அமைந்தவை
அலனைன்	சையூகு (CUG)	சைஅகு (CAG), சைசைகு (CCG)
ஆர்ஜினைகன்	குயூசை (GUC)	குஅஅ (GAA) குசைசை (GCC)
அஸ்பாரிஜின்	யூஅஅ (UAA), சையூஅ (CUA)	சைஅஅ (CAA)
அஸ்பார்டேட்	குயூஅ (GUA)	குசைஅ (GCA)
சிஸ்டீன்	குயூயூ (GUU)	—
குளூடாமேட்	அயூகு (AUG)	அஅகு (AAG)
குளூடாமைன்	—	அகுகு (AGG), அஅசை (AAC)
கிளைசைன்	குயூகு (GUG)	குஅகு (GAG), குசைகு (GCG)
ஹிஸ்டிடீன்	அயூசை (AUC)	அசைசை (ACC)
ஐஸோலூசைன்	யூயூஅ (UUA), அஅயூ AAU	
லூசைன்	யூஅயூ (UAU) யூயூசை (UUC), யூகுயூ (UGU)	
லைசைன்	அயூஅ (AUA)	அஅஅ (AAA)
மீதியோனைன்	யூகுஅ (UGA)	
ஃபீனைல் அலனைன்	யூயூயூ(UUU)	
புரோலைன்	சையூசை (CUC)	சைசைசை (CCC), சைஅசை (CAC)
ஸீரைன்	சையூயூ (CUU)	அசைகு (ACG)
த்ரியோனைன்	யூசைஅ (UCA)	அசைஅ (ACA), சைகுசை (CGC)
ட்ரிப்டோஃபேன்	யூகுகு (UGG)	
டைரோஸின்	அயூயூ (AUU)	
வாலைன்	யூயூகு (UUG)	

இங்ஙனம் அமைந்த சங்கேதங்கள் செல்லற்ற சூழ் நிலையில் நிகழ்த்திய ஆய்வுகளின் பயனால் கணிக்கப்பட்டவை. ஒரு ஜீன் என்பது DNAவில் ஒரு குறிப்பிட்ட நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடராகும். ஜீன்களின் நியூக்ளியோடைடு அமைப்புகள் அமினோ அமிலங்களின் தொடரை நிச்சயிக்கிறது. எனவே ஜீன் களில் ஒரு மாற்றம் நிகழ்வதாகக் கொண்டால் அது அமினோ அமிலங்களின் தொடரிலும் ஒரு மாற்றத்தைக் காட்டுகின்றது.

சான்றாக, டைரோஸின் அமினோ அமிலத்தை ஏற்பதற்காக அமைந்த சங்கேதம் அயூயூ (AUU) என்று அறிவோம்; ஃபீனைல் அலனைனை ஏற்பதற்காக அமைந்த சங்கேதம் யூயூயூ (UUU) என்றும் அறிவோம்.

புகையிலைச் செடிகளைப் பாதிக்கும் வைரஸ்களில் ஒரு சடுதி மாற்றம் ஏற்படுகிறது. அப்போது புரதச் சேர்க்கையில் ஈடுபடும் அஞ்சல் RNA டைரோஸின் (Tyrosine என்ற அமினோ அமிலத்தை ஏற்பதற்குப் பதிலாக ஃபீனைல் அலனைன் அமினோ அமிலத்தை ஏற்கிறது. இதனால் பெறப்படுவது என்ன?

டைரோஸினை ஏற்க அமைந்த மூவ்வெழுத்து சங்கேதம் (AUU) ஃபீனைல் அலனைனை ஏற்கும் சங்கேதமாக (UUU) மாறி விட்டது என்று பொருள். அல்லது டைரோஸினை ஏற்கும் சங்கேதத்திற்கான நியூக்ளியோடைடுகளின் அமைப்பில் (அடினைன்-யூராசில்-யூராசில்) அடினைனுக்குப் பதிலாக யூராசில் வந்து பொருந்தி யூராசில்-யூராசில்-யூராசில் என்ற ஃபீனைல் அலனைனுக்காக நியூக்ளியோடைட் தொடராக மாறியது எனலாம்.

எனவே மேற்கண்ட குறிப்புகளில் அஞ்சல் RNAவில் அமைந்த நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடரை மூன்று மூன்றாகப் பிடிப்பதனால் ஒரு பாலி பெப்டைடுக்கான (Polypeptide) அமினோ அமிலங்களைச் சேர்க்க முடிகிறது. இந்த மூவ்வெழுத்துச் சங்கேதங்களுக்கு நேர் எதிரெழுத்துச் சங்கேதம் மாற்று RNAக்களில் காணப்படு கிறது.

ஒரு சில அமினோ அமிலங்களுக்கு ஒன்றுக்கும் மேற்பட்ட சங்கேதங்கள் இருப்பதைக் கவனிக்கவும்.

மிஸ்ஸென்ஸ் கோடான் (Mis-sense Codon).

ஸிட்னீ ப்ரென்னர் (Sydney Brenner) ஈ-கோலை பாக்டீரி யாவில் நிகழ்த்திய ஆய்வில் ஓர் உண்மையைக் கண்டுபிடித்தார்,

18

மேற்கண்ட அஞ்சல் RNAவிலுள்ள நியூக்ளியோடைடுகளை, சங்கேதங்களாகப் படித்துக் கொண்டே போனால் முடிப்பது எங்கே? இந்த வினாவிற்குத்தான் விடை பகரும் வகையில் ஸிட்னீயின் ஆய்வு அமைந்தது. தொடராக, விடாமல் மும்மெழுத்து சங்கேதங்களைப் படித்துக் கொண்டே போனால், ஒரு குறிப்பிட்ட மும்மெழுத்து சங்கேதம் எந்த ஒரு அமினோ அமிலத்தையும் குறிப்பிடாத நிலையில் காணப்படுகிறது. இதனை முன்னர் பொருளற்ற சங்கேதம் 'அறிவற்ற சங்கேதம்' என்றெல்லாம் குறிப்பிட்டனர்.

ஆனால் இன்று இதுவே புரதச் சங்கிலியின் முடிவைக் குறிக்கிறது என்று கூறுகின்றனர்.

தந்தியில் கண்ட செய்தியைப் போன்று இடைவிடாமல் தொடர்ச்சியாக மும்மெழுத்துகளாகக் கூட்டிக்கொண்டே சென்று முடிவில் மேற்கண்ட மும்மெழுத்து சங்கேதம் வரும்போது நிறுத்த வேண்டும்.

புரதச் சேர்க்கை

படிப்படியாக அமினோ அமிலங்கள் சேர்வதன் மூலம் புரதச் சேர்க்கை நிகழ்கின்றது. அமினோ அமிலங்களைக் கொண்டுவருவன மாற்று RNAக்கள். அஞ்சல் RNA சைடோபிளாஸத்தில் என்டோபிளாஸ்மிக் வலையின் சவ்வுடன் இணைந்த ரிபோஸோம்களில் வந்து பொருந்துகின்றன என்று முன்னரே கண்டோம்.

ரிபோஸோம்கள் மிகச் சிறியவை. அவற்றைவிடப் பன்மடங்கு பெரிதான அஞ்சல் RNA, ரிபோஸோம்களின் அலகுகளான 30_S, 50_S துகள்களுக்கு இடையே காணப்படுகின்றது. இதனால் அஞ்சல் RNAவின் ஒரு சிறிய பகுதிதான் மேற்கண்ட துகள்களோடு— தொடர்பு கொண்டுள்ளது என்பது பெறப்படும். அமினோ அமிலங்கள் கொண்டுவரப்பட்டு மேற்கண்ட 30_S பகுதியை அடைந்தாலும், வளரும் புரதச் சங்கிலி 50_S பகுதியில் காணப்படும்.

அமினோ அமிலங்கள் அமினோ பகுதியையும், கார்பாக்ஸில் பகுதியையும் கொண்டிருக்கின்றன என்று முன்னரே கண்டோம். புரதச் சங்கிலியின் துவக்கத்தில் அமினோ பகுதி அமைந்த நுனி காணப்படுகிறது. படம்12.-11ல் கண்டபடி அடுத்தடுத்து வரும் அமினோ அமிலங்கள் கார்பாக்ஸில் நுனியை சுயேச்சையாகவிட்டுப் பின்வரும் அமினோ அமிலத்தின் அமினோ பகுதியோடு இணைக்கின்றன. அமினோ பகுதியும், கார்பாக்ஸில் பகுதியும் இணையும்போது ஒரு மூலக்கூறு நீர் அகன்றுவிடுகிறது. இதனை அமைடு (Amide) இணைப்பு (Link) என்றழைக்கின்றனர்.

எனவே அமினோ அமிலங்களைக் கொண்டு வந்த மாற்று RNAக்கள் அமினோ அமிலங்களிலிருந்து விடுபட்டு சுயேச்சையாகின்றன.

வளரும் புரதச் சங்கிலி 50_s சிறு அலகில் இணைந்தது என்று பார்த்தோம். புரதச் சங்கிலியின் வளரும் நுனிதான் 50_s சிறு அலகுடன் இணைந்துள்ளது. வளர்ந்த முதல் பகுதி சைடோபிளாஸத்தில் காணப்படலாம். இங்கு குவனோசின்ட்ரை ஃபாஸ்ஃபேட்டு (Quanosine triphosphate) புரதச் சங்கிலியின் வளரும் நுனி 50_s சிறு அலகுடன் இணைவதற்கு உதவுகிறது.

அஞ்சல் RNA ரிபோஸோமின் ஒரு பகுதியில் மட்டும் இணைந்திராமல் துகள்களின் இடையிலுள்ள பள்ளத்தின் வழியாக நகருகிறது. ரிபோஸோமின் (70_s சிறு அலகு) குறுக்களவு சுமார் 230 Å இருக்கும். அஞ்சல் RNAவின் நீளம் சுமார் 5000 Å இருக்கும் இதனால் பல ரிபோஸோம்கள் ஒரே காலத்தில் அஞ்சல் RNAவை உபயோகிக்கலாம். சுமார் 5 அல்லது 8, (70_s சிறு அலகுகள்) ரிபோஸோம்கள் ஒன்றுக அஞ்சல் RNA இழையினை உபயோகித்துப் புரதச் சேர்க்கை செய்கின்றன என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். இவற்றைப் பாலி ரிபோஸோம்கள் (Polyribosomes) என்று அழைககின்றனர். இவற்றை எலெக்ட்ரான் நுண்ணோக்கிகளின் மூலம் காணலாம்.

ஒரு புரதச் சேர்க்கையை நிகழ்த்தி முடித்த ரிபோஸோம் மீண்டும் புரதச் சேர்க்கையில் ஈடுபடலாம். ரிபோஸோம்கள் நியூக்ளியஸ்ஸிலும் காணப்படுகின்றன. எனவே நியூக்ளியஸ்ஸிலும் புரதச் சேர்க்கை நிகழ்கிறதென்பர்.

பழைய அஞ்சல் RNAக்கள் விரைவில் அழிந்து விடுகின்றன என்றும் புதிய அஞ்சல் RNAக்கள் தோன்றுகின்றன என்றும் கண்டு பிடித்துள்ளனர். பழைய mRNAக்கள் எங்ஙனம் அழிகின்றன என்பது புலனாகவில்லை. ஆனால் அவை நிலைத்த தன்மையை உடையனவல்ல என்பதை அறிந்துள்ளனர். இங்ஙனம் புதிதாக அஞ்சல் RNA தோன்றும் தன்மையால் பாக்டீரியாவில் நிகழும் புதிய அஞ்சல் RNAவின் உற்பத்தியைத் தடை செய்ய இயலும்.

எதிர் உயிர் இயல்பினை அளிக்கும் மருந்துகளில் ஆக்டினோமைசின் Dயும் ஒன்றாகும். இதனை பாக்டீரியாக்களுக்கு அளித்த போது, இது மேற்கண்ட முறைப்படி பழைய அஞ்சல் RNAக்கள் அழிந்து புதிய அஞ்சல் RNAக்கள் தோன்றும் கட்டத்தில் தடை ஏற்படுத்துகின்றது என்று அறிந்தனர். பாக்டீரியாக்களில் பழைய அஞ்சல் RNAக்கள் இரு நிமிடங்களே நிலைக்கின்றன என்றும்

கண்டுள்ளனர். ஆனால் சில அஞ்சல் RNAக்கள் நீடித்து நிலைக்கின்றன என்றும் கண்டுள்ளனர்.

நுண்ணுயிர்களில் பாலி நியூக்ளியோடைட் ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ் என்ற நொதி (Enzyme Polynucleotide Phosphorylase) அஞ்சல் RNAக்களை அழிக்கின்றது என்று கருதுகின்றனர்.

மேற்கண்ட ஒழுங்கு முறையில் புரதச் சேர்க்கை நிகழும் திறனைப் பின்வருமாறு சுருங்கச் சொல்லலாம்.

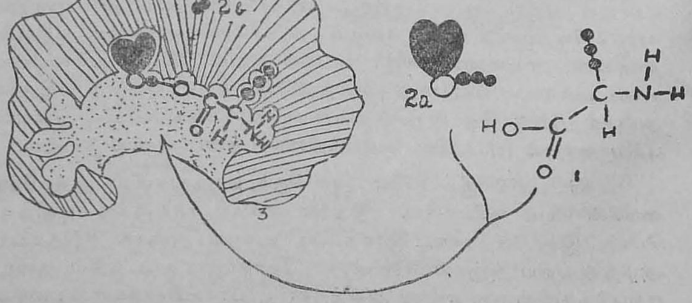
RNAக்கள் நியூக்ளியஸ்ஸினுல் உற்பத்தியாகின்றன. DNAவைச் சார்ந்த RNA பாலிமெரேஸ், ஓர் இழை DNAவில் காணப்படும் செய்தியைப் பல அஞ்சல் RNA இழைகளுக்கு மாற்றி, அஞ்சல் RNA இழைகளைக் கட்டுகின்றது,

மேற்கண்ட அஞ்சல் RNA நியூக்ளியஸ்ஸைவிட்டு அகன்று ஸைடோபிளாசத்தை வந்தடைகிறது. இங்கு ரிபோஸோமின் ஒரு பகுதியோடு, அஞ்சல் RNAவின் ஒரு பகுதி தொடர்புகொள்ளுகிறது.

ஒவ்வொரு மாற்று RNAவும் ஒவ்வொரு அமினோ அமில மூலக்கூறுகளாகக் கொண்டு வருகின்றன. அமினோ அமிலங்களின் 20 வகைகளும், தனித்தனி மாற்று RNAக்களால் கொண்டுவரப்படுகின்றன.

அமினோ அமிலங்கள் ஒவ்வொன்ருகச் சேர்க்கப்படுகின்றன.

அஞ்சல் RNA ரிபோஸோம்களின்மேல் நகருகிறது. இதனால் பல ரிபோஸோம்கள் அஞ்சல் RNAவின் செய்தியை அறிய முடிகிறது. இது பல பாலி பெப்டைடு சங்கிலிகளை ஒரே காலத்தில் உற்பத்தி செய்ய ஏதுவாகிறது. (படம் 12.10, 11, 12).



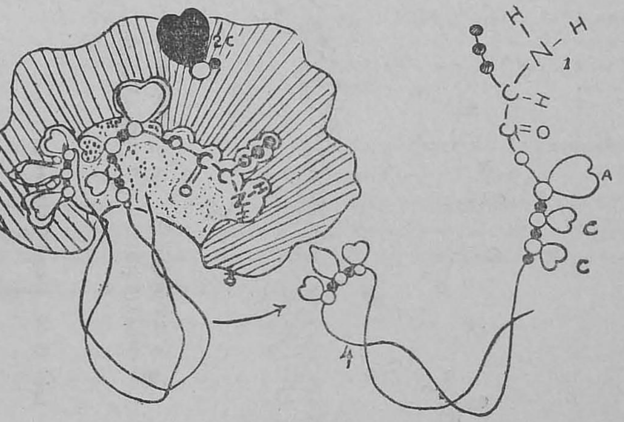
படம் 12.10. அஸைல் அமினோ அமிலம் புரதச் சேர்க்கையில் நிகழும் ஒரு கிரியை

1. அமினோ அமிலம்

2a. அடினோசின் ட்ரைஃபாஸ்ஃபேட்டு (ATP)
= ஒரு ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறு (P)

2b = பைரோ ஃபாஸ்ஃபேட்டு (PP)

3. அமினோ அஸைல் RNA ஸின்தெடேஸ் என்ற நொதி அமினோ அமிலம் அடினோசின் மோனோஃபாஸ்ஃபேட் அல்லது அடினிலிக் அமிலத்துடன் இணைகிறது. பைரோஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறு வெளிவிடப்படுகிறது. இங்கு ATP-யின் சிதைமாற்றத்தினால் அமினோ அமிலம், மேற்கண்ட நொதியின் உதவியால் அஸைல் அமினோ அமிலமாகிறது.



படம் 12.11. அமினோ அஸைல் RNA

1. = அமினோ அமிலம்

2c. = அடினிலிக் அமிலம் (AMP)

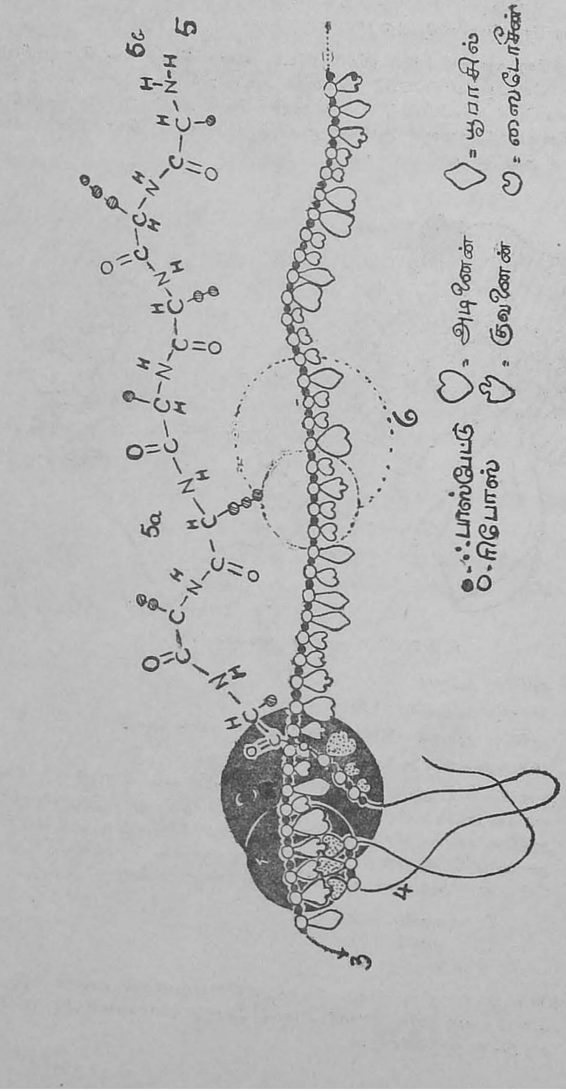
3. = அமினோ அஸைல் tRNA ஸின்தெடேஸ் என்ற நொதி

4. = tRNA அமினோ அமிலத்துடன் வெளி வருதல்

ஒரு குறிப்பிட்ட அஸைல் அமினோ அமிலத்தை ஒரு குறிப்பிட்ட tRNA மூலக்கூறுடன், மேற்கண்ட நொதி இணைக்கிறது. இதனால் AMP அமினோ அமிலத்திலிருந்து விடுபடுகிறது. tRNA-வின் நுனி ஒன்றின் அமைப்பு CCA என்ற நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடரைக் கொண்டுள்ளது. அதுதான் அமினோ அமிலத்தினைப் பிணைக்கிறது.

C = ஸைடோசீன்
C = ஸைடோசீன்
A = அடினோசீன்

tRNA மடிந்த இரு இழை தோற்றத்திலிருப்பதைக் காண்க. இதன் வளைந்த பகுதியில் (bend) ஜோடி சேராத (unpaired) நியூக்ளியோடைடுகள் இருக்கின்றன.



படம் 13.12. புரதச் சேர்க்கை

1. ரிபோசோமின் 30s சிறு அலகு
2. ரிபோசோமின் 50s சிறு அலகு
3. நீண்ட (mRNA) அஞ்சல் RNA இழை
4. மாற்று RNA 30s சிறு அலகில். அமினோ அமிலத்தைக் கொண்டு வரும் போது அமர்தல்

5a. புரதச் சங்கிலி 50s சிறு அலகுடன் இணைந்து காணப்படுகிறது.

5b. புரதச் சங்கிலியின் நைட்ரஜன் நுனி (Nterminal end) அமினோ பகுதியைக் கொண்டிருக்கிறது.

6. ரிபோசோம்கள் சிறியனவாகவும், அஞ்சல் RNR இழை மிக நீளமாகவும் இருப்பதால் அதில் அடங்கியுள்ள செய்தியை ரிபோசோம் ஒவ்வொன்றுகப் படிக்கிறது. அல்லது ஒரே அஞ்சல் RNA இழையில் பாலிரிபோசோம் அமைப்பும் காணப்படலாம்.

ரிபோசோம்கள் எண்ணற்ற முறைகளில் புரதச் சேர்க்கையில் உபயோகப்படலாம். mRNAக்கள் 10 அல்லது 20 முறைகள்தான் பயன்படுத்தலாம். சில உயிரிகளில் இதற்கும் சிறிது மேற்பட்ட அளவு உபயோகமாகலாம். மாற்று RNAக்கள் மேலும் மேலும் அமினோ அமிலங்களைக் கடத்தலாம். இங்ஙனம் புரதச் சேர்க்கை நிகழ்வதாகக் கண்டுள்ளனர்,

13. புரதச் சேர்க்கையைக் கட்டுப்படுத்தல்

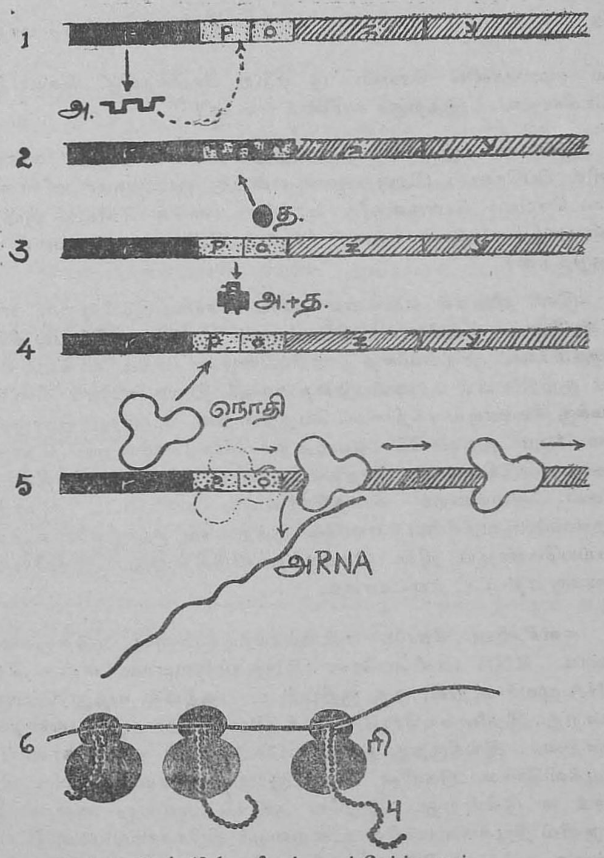
நியூக்ளிக் அமிலங்கள், தங்களுடைய நியூக்ளியோடைட் தொடர்களில் புரதச் சேர்க்கைக்கான செய்தி அனைத்தையும் சேமித்து வைத்துள்ளன என்றும் இந்தச் செய்திகளை mRNA உருவில் ரிபோஸோம்களுக்கு அனுப்புகின்றன என்றும் இதுவே புரதச் சேர்க்கைக்கு முதற்படி என்றும் கண்டோம். நியூக்ளிக் அமிலங்கள் தம் உருவில் பல நியூக்ளியோடைடுகளைக் கொண்டிருத்தலைப்போன்று புரதங்களும் பல பெப்டைடு (Peptide) இணைப்புகளைக் கொண்டிருக்கின்றன.

ஜீன்கள் புரதச் சேர்க்கையில் ஈடுபடுகின்றன. ஒரு ஜீன் என்று குறிப்பிடும்போது அது ப்யூரின்களும் பிரமிடீன்களும் அடங்கிய ஒரு தொடரைக் குறிக்கின்றது. இத்தகைய தொடர்கள் டீஆக்ஸி ரிபோ நியூக்ளிக் அமிலமான DNA-வில் காணப்படு கின்றன. எனவே ஒரு DNA மூலக்கூறில் பல ஜீன்கள் காணப் படுவது இங்கு பெறப்படும். (படம் 13.1).

இந்த ஜீன் புரதத்தில் அமைந்த அமினோ அமிலங்களின் தொடரை நிச்சயிக்கிறது.

ஒரு ஜீன்-ஒரு நொதியைத் தயாரிக்கும் முறை பீடில், டாட்டம் (Beadle & Tatum) என்ற இருவரின் ஆய்வுகளில் புலனாகியது (நொதிகளும் புரதங்களே). இவர்கள் நியூரோஸ்-போரா என்ற பூஞ்சையில் ஜீன்களுக்கு ஏற்பட்ட மாற்றத்தினால் அவை தம் சூழ் நிலையில் காணப்பட்ட உணவுப் பொருள்களைக் சிதைக்க முடிய வில்லை. இதனால் அந்தக் கிரியைக்குத் தேவைப்படும் நொதி உற்பத்தி செய்யப்படவில்லை என்பது தெளிவாகியது.

ஜீன்கள் இங்ஙனம் நொதிப் புரதங்களையும் மற்றப் புரத வகை களையும் தயாரிக்கும் பணியில் முக்கிய அம்சங்களாகின்றன. ஜீன் கள் எப்போதும் புரதங்களைத் தயாரித்துக்கொண்டேயிருப்பதில்லை,



படம் 13.1. ஜீனும் புரதச் சேர்க்கையும்
கோலை பாக்டீரியத்தின் ஜீன்களின் வரிசை

r = அடக்குவான் (Repressor) ஜீன்

p,o = ஊக்குவிக்கும் ஜீன்கள் (Promoter and Operator) அல்லது செயல் படுத்தும் ஜீன்கள்

z = பீடா–கேலக்டோஸிடேஸ் என்ற நொதியை உற்பத்தி செய்வதற்கென்று செய்தியை அனுப்பும் ஜீன்

y = லேக்டோஸ் என்ற பொருளைச் செல்லில் சேகரிக்கும் பெர்மியேஸ் என்ற நொதியை உற்பத்தி செய்வதற்கான செய்தியை அனுப்பும் ஜீன்

த = தளப்பொருள்

அ = அடக்கும் பொருள்

நொதி = RNA பாலிமெரேஸ்

அ. RNA = அஞ்சல் RNA

ரி. = ரிபோஸோம்

பு. = புரதச் சங்கிலி

சில சமயங்களில் செயல்பட்டு மற்ற வேளைகளில் செயலற்றுப் போகின்றன. இதற்குக் காரணம் என்ன?

இங்ஙனம் ஜீன்கள் செயலற்றுப் போவதற்குரிய காரணங்களில் ரிப்ரெஷன் (Repression) என்பது ஒன்றாகும். ஜீன்களைத் தடைசெய்யும் பொருள்களை மார்க் டாஸ்னே (Mark ptashne) என்பவரும் வால்டர் கில்பர்ட் (Walter Gilbert) என்பவரும் பிரித்தெடுத்தனர்.

இனி ஜீன்கள் எங்ஙனம் தடை செய்யப்படுகின்றன என்று காண்போம். ஒவ்வோர் உயிரியும் தன் வாழ்க்கையில் பல கிரியைகளுக்கெனப் புரதங்களைத் தயாரிக்கின்றது. பாக்டீரியாக்களில் சில தம் சூழ்நிலையில் காணப்படும் உணவுப் பொருள்களைச் சிதைத்து தமக்கு வேண்டிய சக்தியைப் பெருகின்றன. உணவுப் பொருள்கள் கிடைக்கும் தருவாயில் அவற்றைச் சிதைக்கக்கூடிய நொதிகள் தேவைப்படுகின்றன. அத்தகைய உணவுப் பொருள் கிடைக்காவிடில் அவற்றைச் சிதைக்கக்கூடிய தனிப்பட்ட நொதிகள் தேவைப்படுவதில்லை. எனவே அத்தகைய நொதிகளை உற்பத்தி செய்யவேண்டிய ஜீன் செயலற்று விடுகின்றது. இதுவே ஜீன்களுக்கு ஏற்பட்ட தடையாகும்.

ஈஸரீஸியா கோலை என்ற பாக்டிரியாவை எடுத்துக்கொள்வோம். RNA பாலிமெரேஸ் (RNA polymerase) என்ற நொதி, DNA மூலக் கூறில், ஒரு குறிப்பிட்ட பகுதியில் வந்து பொருந்துகின்றது. இதனைப் புரோமோட்டர் (Promoter) பகுதி என்றழைக்கின்றனர். இங்கிருந்து துவங்கி, DNA மூலக் கூறில் காணப்படும் நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடருக்கு இணையாக RNA தொடரைக் கட்டுகின்றது. இதுவே mRNA அல்லது அஞ்சல் RNA உருவில் நியூக்ளியஸ்ஸின் உறையைக் கிழிக்காமல் சைடோபிளாசத்தை வந்தடைகின்றது. சில ஜீன்களில் இந்தச் செயல் ஒரு பொருளால் (Repressor) கட்டுப்படுத்தப்படுகின்றது. இது மற்றொரு கட்டுப்படுத்தும் ஜீனால் (Control gene) உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது.

இந்த ரிப்ரெஸ்ஸார் பொருள், அஞ்சல் RNA-வை உற்பத்தி செய்யும் ஜீனின் முதல் பகுதியான புரோமோட்டர் (Promoter) பகுதியில் (படம் 13.1) வந்து ஒட்டிக்கொள்கின்றது. இதனால் RNA பாலிமெரேஸ் அஞ்சல் RNA-வை உற்பத்திசெய்ய முடியவில்லை. இதனால் ஜீன் செயலற்றுப் போகின்றது.

ஈ-கோலை பாக்டிரியாவில் இது நிகழும் விதத்தைக் காண்போம். இங்கு DNA மூலக்கூறில் பல ஜீன்கள் காணப்படுகின்றன,

அவற்றில் பீடா-கேலக்டோஸிடேஸ் (B-galactosidase) என்ற நொதியைத் தயாரிக்கும் ஜீனும் காணப்படுகிறது. இந்த பாக்டீரியா லேக்டோஸ் (Lactose) என்ற பொருளுள்ள சூழ்நிலையில் வளருகிறது எனக் கொள்வோம். அப்போது அந்தச் சர்க்கரையை கேலக்டோஸாகவும் (Galactose) குளுகோஸாகவும் (Glucose) சிதைப்பதற்கு மேற்கண்ட நொதி தேவைப்படுகின்றது. லேக்டோஸ் பாக்டீரியாவின் சூழ்நிலையில் இல்லாதபோது கேலக்டோஸிடேஸ் நொதி தேவைப்படுவதில்லை. அவ்வமயம் லேக் ரிப்ரெஸார் (Lac repressor) என்ற பொருள் புரோமோட்டர் பகுதியில் வந்து பொருந்துகிறது. இதனால் பீடா கேலக்டோஸிடேஸ் ஜீன் செயலற்றுப் போகின்றது. அதாவது RNA பாலிமெரேஸ், ஜீனிலிருந்து அஞ்சல் RNA-வைத் தயாரிக்க முடியவில்லை.

ஆனால் லேக்டோஸ் சூழ்நிலையில் இருக்கும்போது லேக்டோஸிலிருந்து உண்டான பொருள் ஒன்று ரிப்ரெஸ்ஸார் பொருளைப் பிணைக்கிறது. இதனால் புரோமோட்டர் பகுதி ரிப்ரெஸ்ஸார் பகுதியிலிருந்து விடுபடுகிறது. இந்த மாற்றம் RNA பாலிமெரேஸின் செயலுக்கு வழிகோலுகிறது.

எனவே ஜீன்கள் தேவைப்படும்போது செயல்படுவதும், மற்ற சமயங்களில் செயலற்றுப் போவதும் தெளிவாகியது.

14. ஜீன் உற்பத்தி

ஜீன்கள் நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடர்கள் என்று அறிவோம். ஜீன்கள்தான் RNA, புரதம் முதலியவற்றை உற்பத்தி செய்வதாகவும் அறிவோம். இத்தகைய DNA எனப்படும் நியூக்ளிக் அமிலங்களைச் செயற்கையாக உற்பத்திசெய்யும் முயற்சியை அறிவுலகம் துவங்கியது. இதில் பிறப்பால் இந்தியர் எனப்படும் கொரானு அவர்களின் முயற்சி குறிப்பிடத்தக்கது,

நியூக்ளிக் அமிலங்களின் சிறு அலகுகளான நியூக்ளியோடைகள் ஒன்ருேடொன்று இணைந்து பல நியூக்ளியோடைடுகளைக் கொண்ட அமைப்புகளைத் (Polymers) தோற்றுவிக்கின்றன.

ராபர்ட் ஹோலி (Robert Holley) என்பவர் கோர்நெல் பல்கலைக் கழகத்தைச் சேர்ந்தவர். இவர் செல்களில் காணப்படும் மாற்று RNA (Transfer RNA) ஒன்றின் உருவ அமைப்பினைத் தெளிவாக்கினர். இந்த மாற்று RNA அலனைன் என்ற அமினே அமிலத்தை எடுக்கும் RNA. இது ஈஸ்ட்டு செல்களில் காணப்படுகிறது. அவர் தம் குறிப்பில் எழுதி வைத்திருந்த சொற்கள் கொரானுவின் முயற்சியைத் தூண்டும் வகையில் அமைந்தன......... அலனைன் மாற்று RNA-வின் உருவ அமைப்பை நிச்சயித்தது...... உயிரியக்கம் கொண்ட நியூக்ளிக் அமிலத்தை உற்பத்திசெய்யும் முயற்சிகளுக்கு அடிப்படையாகும். எனவே ஜீன்களை (DNA அமிலம்) உற்பத்திசெய்யும் முயற்சியில் அறிவுலகம் முனைந்தது எனலாம்.

ஹோலி கண்டுபிடித்த அலனைன் RNA அமைப்பில் 77 நியூக்ளியோடைடுகள் காணப்பட்டன. நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடரை அறிந்த பின்னர் அத்தகைய RNA-வை உற்பத்தி செய்யக்கூடிய ஜீனை எளிதில் அறியலாமல்லவா? வாட்ஸன், கிரிக் என்றவர்கள் கண்டுபிடித்த அடிப்படையான ப்யூரீன் பிரமிடின் பேஸ்களின் இணைப்புத் தன்மையினுல் மேற்கண்ட அலனைன் மாற்று RNA-வின் ஜீனிலுள்ள நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடரை எளிதில் கணிக்கலாம். நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடரைக் கணித்தபிறகு அத்தகைய நியூக்ளியோடைடுகளை. எங்ஙனம் ஒன்ருேடு ஒன்ருக இணைப்பது என்ற வினு எழுந்தது.

நியூக்ளியோடைடுகளை ஒவ்வொன்ருக இணைக்கலாமென்ருல் அது மிகவும் அரிய செயலாக இருந்தது. ஏனெனில் அந்தக் கிரியைக்குப் பல சிக்கலான உபகரணங்கள் தேவைப்பட்டன. 1968-ம் ஆண்டிற்குள் கொராணு குழுவினர் 20 நியூக்ளியோடைடுகள் கொண்ட இரட்டை இழைகளை மேற்கண்ட ஒவ்வொரு நியூக்ளியோடைடுகளாகக் கோர்க்கும் முறையில் செய்து முடித்தனர். ஆனல் இதைவிட எளிய முறையினைக் கையாள வேண்டிய நிர்ப்பந்தம் ஏற்பட்டது.

இங்கு DNA இரட்டிக்கும் பண்பு ஒரு திறவுகோலாக அமைந்தது. இரு இழைச் சுருளான DNA இரட்டித்தலில் ஓர் இழை மற்ருெரு நிரப்பு இழையைத் தோற்றுவிக்கிறது என்று அறிவோம். எனவே அத்தகைய ஒரு DNA இழை, மற்ருெரு இழையை உற்பத்திசெய்யும் தளமாகிறது. மேலும் இரு சங்கிலிகளை ஒன்ருக இணைத்து DNA இழை உற்பத்திசெய்யலாம் என்றதையும் அப்போது கண்டுபிடித்தனர். இதற்கென இணைக்கும் நொதிகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இந்த நொதி மேற்கண்ட இரு பகுதிகள் அல்லது இரு நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடர்கள் DNA தளத்தின்மேல் பொருந்தி இருக்கும்போது, அவற்றை ஒன்றுடன் ஒன்ருக இணைக்கும் கிரியையைச் செய்கின்றன. இந்த முறைப்படி அத்தகைய பகுதிகளில் உள்ள ஒட்டிக்கொள்ளும் நுனிகளை மற்றப் பகுதிகளோடு இணைந்ததன்மூலம் நீண்ட நியூக்ளியோடைடு சங்கிலிகள் தோற்றுவிக்கப்பட்டன. சான்ருகக் கீழ்வரும் நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடர்கள் எங்ஙனம் வளர்கின்றன என்று காண்போம்.

C—G—A—G—G—G—A—A—T—C
+
G—C—T—C—C
↓
C—G—A—G—G—G—A—A—T—C
G—C—T—C—C
+
C—T—T—A—G—C—A—T—G—G
↓
C—G—A—G—G—G—A—A—T—C
G—C—T—C—C—C—T—T—A—G—C—A—T—G—G
↓ இணைக்கும் நொதி
+G-T-A-C-C-C-T-C-T-C
C—G—A—G—G—G—A—A—T—C
G—C—T—C—C—C—T—T—A—G—C—A—T—G—G
↓
C-G-A-G-G-G-A-A-T-C-G-T-A-C-C-C-T-C-T-C
G-C-T-C-C-C-T-T-A-G-C-A-T-G-G

எனவே 10 அல்லது அதற்குட்பட்ட நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடர்களை ஒன்ருக இணைத்தல் மேற்கண்ட செய்முறையில் காணப்படுகிறது. கொராஞ இத்தகைய 15 தனித்தனித் தொடர் களை ஒன்ருக இணைத்ததாகக் கூறுகின்ருர். ஒவ்வொரு தொடரிலும் 8-லிருந்து 20 நியூக்ளியோடைடுகள் வரை காணப்பட்டன. ? அங் ஙனம் சேர்த்து உண்டாக்கியது அலனைன் மாற்று RNA தான் என் பதை எப்படிக் கணிப்பது ?

மேற்கண்ட செயற்கை ஜீன் அலனைன் மாற்று RNA-வைத் தயாரிக்கும் செய்தியைப் பெற்றிருந்தால் அதனை உபயோகித்து அலனைன் RNA-வைத் தயாரிக்கலாம். பின்னர் அத்தகைய அலனைன் மாற்று RNA-வைப் புரதச் சேர்க்கையில் ஈடு படுத்தலாம்.

தற்போது கொராஞ மற்றுமொரு ஜீனை உற்பத்தி செய்வதில் ஈடுபட்டுள்ளார். (E-Coil) என்றழைக்கப்படும் பாக்டீரியத்தில் சடுதி மாற்றத்தினல் பாதிக்கப்பட்ட டைரோஸின் மாற்று RNAவை உற்பத்திசெய்யும் ஜீனைத் தயாரிப்பதில் முற்பட்டுள்ளார். இதனல் டைரோஸின் ஸப்ரெஸ்ஸார் மாற்று RNA-வைத் தயாரித்து சடுதி மாற்றம் அடைந்த பாக்டீரியத்தில் செலுத்தினல் அது டைரோ ஸின் என்ற அமினே அமிலத்தைப் புரதச் சேர்க்கையில் ஈடுபடுத் தும். இங்ஙனம், டைரோஸின் புரதச் சேர்க்கையில் உபயோகப் படுத்தப்படுவதை அறிந்தால், மேற்கண்ட செயற்கை ஜீன் வினை புரிந்தது தெளிவாகும்.

மேற்கண்ட செய்முறையினைப் பல ஆய்வுக்கூடங்கள் உபயோ கப்படுத்துகின்றன. சடுதிமாற்றத்தினல் செயலிழந்த ஜீனை உயிர்ப் பிக்கும் வகையில் செயற்கை ஜீன் வினைபுரிவதைக் கண்டுபிடித்து விட்டால் அது அறிவுலகத்தின் அரிய சாதனை எனலாம். தாவரங் களிலும், உயர்விலங்கு, மனிதன் போன்ற உயிரிகளிலும் பல உயிர் வேதியியல் மாற்றங்கள் நிகழ்கின்றன. சாதாரண உயிரியக்கத் தினல் வாழ்பவை பல இருந்தாலும் ஒருசில, உயிரியக்கத்தில் காணப்படும் சாதாரண உயிர்வேதியியல் மாற்றங்களை நிகழ்த்தும் திறனில்லாமல் நோய்வாய்ப்பட்டு அல்லல்படுகின்றன. சான்ருக நீரிழிவு (Diabetic) வியாதியஸ்தர், ஹீமோஃபிலியா நோயாளிகள் (Hemophilies) எனப்படுபவர்களின் குறை என்னவென்ருல் அவர் களின் உடலில் ஒருசில உயிர்வேதியியல் மாற்றங்கள் நிகழாமல் நின்றுவிடுகின்றன. எனவே அத்தகைய கிரியைகளுக்கான நொதி கள் அங்குக் காணப்படுவதில்லை என்பது பெறப்படும்.

நொதிகளைப் புரதங்கள் என அறிவோம். புரதச் சேர்க்கையில் ஈடுபடுவதற்கு ஜீன்களின் செய்தி தேவைப்படுகிறது. மேற்கண்ட

ஜீன்களைச் செயற்கையாகத் தயாரித்து, அத்தகைய இயற்கையான ஜீன்களில்லாத குறையை ஈடுசெய்யலாம்.

ஜீன்களைத் தயாரித்தல், உடலில் செலுத்தல் என்ற பிரிவின் கீழ் பல ஆய்வுகளை நிகழ்த்த வேண்டும். செயற்கையான ஜீன்களின் செயல் நிலைத்த தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றனவா என்பதையும் ஆய்தல் வேண்டும்.

அல்லது இயற்கையாகக் காணப்படும் ஜீன்களோடு மேற்கண்ட செயற்கையான ஜீன்களை ஒன்றுசேர்க்க வேண்டும். இந்த ஆய்வுகளில் வைரஸ் உயிரிகளில் ஒருவகைக் கருவியாகக் கருதப்படுகின்ற பாக்டீரியோஃபேஜ்கள் (Bacteriophages) எனப்படுபவை தம் நியூக்ளிக் அமிலப் பகுதிகளை ஒரு சில பாக்டீரிய நியூக்ளிக் அமிலப் பகுதிகளுடன் சேர்த்தலைப் பயன்படுத்தவேண்டும் என்று பலர் கருதுகின்றனர். இது செயற்கையான ஜீன் உற்பத்தியில் ஒரு புதிய பாதையைத் தோற்றுவிக்கலாம். இதில் மும்முரம் காட்ட வேண்டியது பயனுள்ள செயலாகும்.

15. லிபிடுகளின் வளர்சிதை மாற்றம்

புரதங்கள் தாவரங்களின் சிறப்பான பகுதிகள் எனக் கண்டோம். தரசம், சர்க்கரை, செல்லுலோஸ் போன்ற கார்போஹைடிரேட்டுகள், சக்தியை அளிக்கவும், செல் சுவர்களைக் கட்டவும் உதவுகின்றன என்றும் அறிவோம். இனி தாவர செல்களின் அரண்களாக அமைந்த சவ்வுகளில் புரதங்களோடு இணைந்தும், கார்போஹைடிரேட்டைப்போன்று சேமிப்புப் பொருள்களாகவும், சில பொருள்கள் காணப்படுகின்றன. இவையே லிபிடுகள் எனப்படுகின்றன,

லிபிடுகளைக் கொழுப்புப் பொருள்கள் என்று குறிப்பிடுகின்றனர். லிபிடு என்ற பெயர் பலதரப்பட்ட கொழுப்புப் பொருள்களுக்கெனப் பொதுவாக அமைந்த பெயராகும். இவையனைத்திலும் கொழுப்பு அமிலங்கள் காணப்படுகின்றன.

தரசத்தைப்போலவே ஒரு சேமிப்புப் பொருளாகக் காணப்படும் லிபிடு, கொழுப்பு எனப்படும். இதனை உண்மையான கொழுப்பு (The true fat) என்றழைப்பர்.

மெழுகுகள் (Waxes) என்பவை லிபிடுகளில் இரண்டாம் வகை எனப்படும். புறத்தோலின்மேல் படிந்துள்ள க்யூடிகிள் (Cuticle) அமைப்பில் காணப்படுகின்றன.

ஃபாஸ்ஃபோலிபிடுகள் (Phospholipids) மூன்றும் வகையைச் சேர்ந்தவை எனலாம். இது செல்களில் காணப்படும் சவ்வுகளிலெல்லாம் இயற்கையாக அமைந்த ஒரு முக்கியப் பொருளாகும்.

சவ்வுகள் என்று குறிப்பிடும்போது நம் நினைவில் நிற்பது பிளாஸ்மா சவ்வு. அது மட்டுமின்றி மைட்டோகோண்ட்ரியா பசுங்கணிகம், என்டோபிளாஸ்மிக் வலை, கோல்ஜி உறுப்பு அனைத் திலும் 'இவற்றை ஸைடோபிளாசத்திலிருந்து பிரிக்கும் அரணுகச் சவ்வுகள் காணப்படுகின்றன,

வளர்சிதை மாற்றங்கள் அனைத்தும் மேற்கண்ட பகுதிகளில் அடங்குமல்லவா! இத்தகைய உறுப்புகளின் சீரிய அமைப்பு அவைகளின் வெளியுறை சவ்வுகளும் அவற்றின் உள்ளே காணப் படும் சவ்வுகளுமேயாகும். இதனுல் புரதத்தோடு அமைந்த ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடுகள் ஒரு தாவரத்தின் ஆக்கத்திற்கு அவசியப் பொருள்கள் என்பது பெறப்படும்.

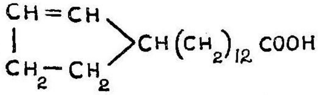
இனி லிபிடுகளை வரிசைப்படுத்தி அவற்றின் வளர்சிதை மாற்றங்களைக் காண்போம்.

கொழுப்பு

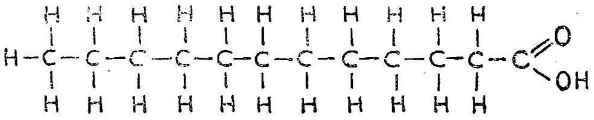
தாவரங்கள், கொழுப்பு அமிலங்களையும் கிளிஸராலையும் சேர்த்து, ட்ரைகிளிஸரைடுகளை (Triglycerides) உற்பத்தி செய் கின்றன. இவற்றையே கொழுப்பு என அழைக்கிருேம்.

பெரும்பாலான கொழுப்பு அமிலங்கள் கார்பன் அணுக்களை இரட்டைப் படையில் கொண்டுள்ளன. பல கார்பன்கள் இணைந்த நீண்ட தொடர்களாக இந்தக் கொழுப்பு அமிலங்கள் காணப்படு கின்றன. இவற்றில் அமிலப் பகுதி என்றழைக்கப்படும் கார்பாக் ஸில் பகுதி (Carboxyl end i.e. COOH) இந்தத் தொடரின் ஒரு நுனியாகிறது. எஞ்சிய பகுதியில் கார்பன்களும், ஹைடிரஜன் களும் மட்டுமே காணப்படுகின்றன. உயர் தாவரங்களில் காணப் படும் கொழுப்பு அமிலங்கள் பொதுவாக 12-லிருந்து 26 கார்பன் அணுக்கள் வரை அமைந்த அமிலங்களாகின்றன.

அட்டவணை — சில கொழுப்பு அமிலங்கள்

அமிலங்கள்	மூலக்கூறு வாய்பாடு	வேதியியல் அமைப்பு
1) லாரிக் (Lauric)	$C_{12}\ H_{24}\ O_2$	$CH_3\ (CH_2)_{10}$ CooH
2) மிரிஸ்டிக் (Myristic)	$C_{14}\ H_{28}\ O_2$	$CH_3\ (CH_2)_{12}$ CooH
3) பாமிடிக் (Palmitic)	$C_{16}\ H_{32}\ O_2$	$CH_3\ (CH_2)_{14}$ CooH
4) ஸ்டீயரிக் (Stearic)	$C_{18}\ H_{36}\ O_2$	$CH_3\ (CH_2)_{16}$ CooH
5) ஓலீக் (Oleic)	$C_{18}\ H_{34}\ O_2$	$CH_3\ (CH_2)_7$ CH :CH $(CH_2)_7$ CooH
6) ரிஸினோலிக் (Ricinoleic)	$C_{18}\ H_{34}\ O_3$	$CH_3\ (CH_2)_5$ $CHOHCH_2$ CH: CH $(CH_2)_7$ CooH
7) எருஸிக் (Erucic)	$C_{22}\ H_{42}\ O_2$	$CH_3\ (CH_2)_7$ CH : CH $(CH_2)_{11}$ CooH
8) லினோலீக் (Linoleic)	$C_{18}\ H_{32}\ O_2$	$CH_3\ (CH_2)_4$ CH: $CHCH_2$ Ch: CH $(CH_2)_7$ CooH
9) லினோலீனிக் (Linolenic)	$C_{18}\ H_{30}\ O_2$	CH_3 CH_2 CH: $CHCH_2$ CH: $CHCH_2$ CH. CH $(CH_2)_7$ CooH
10) சால்மூக்ரிக் (Chaulmoogric)	$C_{18}\ H_{32}\ O_2$	

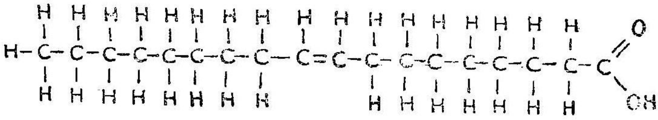
இந்த அட்டவணையில் மிகச்சிறிய அமைப்பைப் பெற்றிருப்பது லாரிக் அமிலமெனக் கூறலாம். இதனை ஒரு நீண்ட தொடர் எனலாம். இதில் காணப்படும் கார்பன்கள் (கார்பாக்ஸில் கார்பனைத் தவிர) அனைத்தும் இரண்டு அல்லது மூன்று ஹைடிரஜன்களைப் பெற்றிருக்கின்றன.



படம் 15.1. லாரிக் அமிலம்

இந்த அமைப்பினுல், லாரிக் அமிலத்திலுள்ள கார்பன்கள் பூரிதம் அடைந்திருக்கின்றன (Staturated Carbons) எனலாம். அதாவது, அவை CH_2 வாகவோ அல்லது CH_3 யாகவோ குறைக்கப்பட்டன என்னும் பொருள்படும். இந்த அட்டவணையில் இத்தகைய கொழுப்பு அமிலங்கள் இருப்பதைக் காண்க.

சில கொழுப்பு அமிலங்களில் இத்தகைய நிலைமையில்லாமையால் கார்பன்களுக்கிடையே, ஓர் இணைப்புப்பட்டை காணப்படுவதற்குப் பதிலாக இரு இணைப்புப் பட்டைகள் (Double bonds) காணப்படுகின்றன. ஓலீக் அமிலத்தின் கார்பன் தொடரில் இத்தகையதொரு நிலைமை காணப்படுகிறது.



படம் 15.2 ஓலீக் அமிலம்.

கொழுப்பு அமிலங்களில் லாரிக் அமிலம், மிரிஸ்டிக் அமிலம், ஸ்டீயரிக் அமிலம், ஓலீக் அமிலம், லினேலீக், லினேலீனிக் அமிலங்கள் போன்றவை தாவரங்களில் காணப்படும் கொழுப்புக்களில் உள்ளன. இவை அதிக அளவில் காணப்படுவதற்கு இதுவே முக்கியக் காரணமாகும். எருஸிக் அமிலம் கடுகுச் செடி குடும்பத்தில் காணப்படும். செடிகளின் விதைகளில் உள்ளது. ரிஸினேலீக் அமிலம் ஆமணக்கு விதைகளில் உள்ளது.

இனி இவை எங்ஙனம் ஆல்கஹால்களுடன் இணைந்துள்ளன என்று காண்போம். ட்ரைகிளிஸரைடுகளில் கிளிஸரால் என்ற ஆல்கஹால் கொழுப்பு அமிலங்களுடன் சேரும்.

$$H_2COH$$
$$|$$
$$HCOH$$
$$|$$
$$H_2COH$$

படம் 15.3. கிளிஸராால்

படம் 15.3-ல் கண்ட கிளிஸராலின் அமைப்பில் மூன்று ஹைடிராக்ஸில் பகுதிகள் இருப்பதைக் காண்க. இந்த ஹைடிராக்ஸில் பகுதிகளுடன் கொழுப்பு அமிலங்களின் கார்பாக்ஸில் பகுதிகள் இணைவதால் கொழுப்பு உண்டாகிறது. மூன்று ஹைடிராக்ஸில் பகுதிகள், கிளிஸராலில் காணப்படுவதால் மூன்று கொழுப்பு அமிலங்கள் இணையவேண்டும்,

கொழுப்பு அமிலங்கள்

$$H_2CO\ \boxed{H} \leftarrow \boxed{Ho} -\overset{O}{\overset{\|}{C}}(CH_2)_{16}\,CH_3 \leftarrow \text{ஸ்டீயரிக் அமிலம்}$$

$$HCO\ \boxed{H} \leftarrow \boxed{Ho} -\overset{O}{\overset{\|}{C}}(CH_2)_{16}\,CH_3 \leftarrow \text{ஸ்டீயரிக் அமிலம்}$$

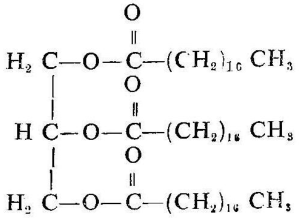
$$H_2CO\ \boxed{H} \leftarrow \boxed{Ho} -\overset{O}{\overset{\|}{C}}(CH_2)_{16}\,CH_3 \leftarrow \text{ஸ்டீயரிக் அமிலம்}$$

↑
கிளிஸரால்

படம் 15 4. கிளிஸராலும் கொழுப்பு அமிலங்களும்

படம் 15·4-ல் மூன்று ஸ்டீயரிக் அமில மூலக்கூறுகள் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. இவை கிளிஸராலுடன் இணையும்போது, அவற்றின் கார்பாக்ஸில் பகுதிகளும் கிளிஸராலின் ஹைடிராக்ஸில் பகுதிகளும் தொடர்பு கொள்ளுகின்றன. இதனால் கிளிஸராலுக்

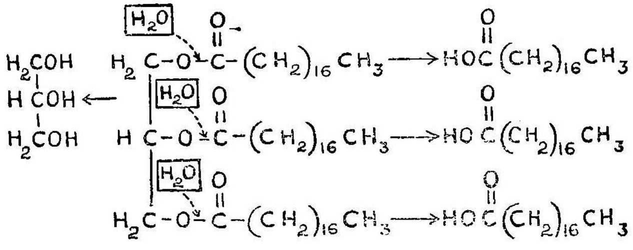
கும் கார்பாக்ஸில் பகுதிக்கும் இடையில் ஒரு மூலக்கூறு நீர் அகற்றப்படுகிறது.



படம் 15.5. ஒரு கொழுப்பு மூலக்கூறு

இதில் கிளிஸராலின் ஹைடிராக்ஸில் பகுதிகள் இருந்த இடங்களில் மூன்று ஆக்ஸிஜன் பாலங்கள் இருப்பதைக் கவனிக்கவும். இவை கிளிஸராலைக் கொழுப்பு அமில மூலக்கூறுகளுடன் இணைக்கின்றன.

இத்தகைய கொழுப்பு மூலக்கூறு நீர் இணைத்தல் பெறும் போது, கிளிஸரால்— கொழுப்பு அமில எஸ்டர் (Ester) இணைப்புகள் (Linkages) நீரை ஏற்கின்றன. இதனால் கிளிஸரால் தனியாகவும், மூன்று கொழுப்பு அமிலங்கள் தனித்தனியாகவும் பிரிகின்றன.



படம் 15.6. கொழுப்பின் நீர் இணைத்தல்

இங்கு ஸ்டியரிக் அமிலமே மேற்கண்ட எஸ்டர் இணைப்புகளில் எல்லாம் காணப்படுவதாக வரையப்பட்டுள்ளது. ஆனால் பொதுவாக. கிளிஸரால் பலவகைப்பட்ட கொழுப்பு அமிலங்களுடன் சேருகிறது. இதனால் ஒரு கிளிஸரால் மூலக்கூறு ஸ்டியரிக், ஓலீக், லினோலீக் என்ற மூன்று கொழுப்பு அமில மூலக் கூறுகளுடனே

அல்லது மற்ற மூன்று கொழுப்பு அமில மூலக் கூறுகளுடனே சேர லாம் என்பது பெறப்படும்.

தாவரங்களில் இத்தகைய மூலக்கூறுகள் பல சேர்ந்து ஒரு தனித்தரமான கொழுப்பினைத் தயாரிக்கின்றன. எனவே தாவரத் தின் ஒவ்வொரு சிற்றினத்திலும் அதற்கான கொழுப்புச் சத்து காணப்படுகிறது. இவை திரவ நிலையிலும், திட நிலையிலும் காணப் படலாம். திரவ நிலையில் இவற்றை எண்ணெய் (Oil) என்று குறிப்பிடுகின்றனர். திடப்பொருளாகக் காணப்படுபவற்றைப் பொது வாகக் கொழுப்பு (Fat) என்றழைக்கின்றனர். இதில் கொழுப்புத் தன்மையை அவற்றிலுள்ள பூரிதமடைந்த (Saturated) கொழுப்பு அமிலங்கள் நிச்சயிக்கின்றன. எண்ணெய் தன்மை அந்தக் கொழுப்பில் அடங்கியுள்ள பூரிதமடையாத கொழுப்பு அமிலங் களால் (Unsaturated fatty acids) ஏற்படுகிறது. இத்தகைய அமிலங்களுக்கு ஹைடிரஜனை அளித்தால் அவற்றில் காணப்படும் இரட்டை இணைப்புப் பட்டைகள் தகர்ந்து கார்பன் குறைத்தல் அடையும். இதனால் கொழுப்பு உண்டாகிறது.

மேற்கண்ட தத்துவத்தை உபயோகித்துத்தான் வனஸ்பதி போன்ற தாவரக் கொழுப்பினைத் தயாரிக்கின்றனர். கொழுப்புச் சத்துப் பொருள்கள் சிறப்பாக முதிர்ந்த கனிகளிலும், விதைகளி லும் காணப்படுகிறது. சிறிது சிறிதாகக் கொழுப்பு இத்தகைய உறுப்புகளில் சேகரமடைகிறது. ஆனால் சர்க்கரை போன்ற பொருள்களே கடத்தப்படுகின்றன. இவற்றிலிருந்து கொழுப்புத் தோன்றலாம். இலைகளில் நிகழும் ஒளிச் சேர்க்கையால் உற்பத்தி யாகும் சர்க்கரை, கனிகளை அடைந்து அங்கு அடையும் மாற்றத் தினால் கொழுப்பு உண்டாகிறது.

சர்க்கரையின் சிதைமாற்றங்களில் பைருவிக் அமிலம் உண்டா கின்றதென்று அறிவோம். பைருவிக் அமிலத்தின் ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சிகளின் முடிவில் அஸிடைல் கோஏ (Acetyl CoA) தோன் றும். பல அஸிடைல் கோஏ மூலக்கூறுகள் சேர்ந்து நீண்ட கொழுப்பு அமிலக் கூறுகள் உண்டாகின்றன. கொழுப்பு அமிலங்கள் கிளிஸராலுடன் இணைவதால் கொழுப்பு உண்டாகிற தென்று முன்னரே அறிவோம்.

கொழுப்பின் வளர்சிதை மாற்றம்

எல்லா செல்களிலும் லிபேஸ் (Lipase) என்ற நொதி காணப் படுகிறது. இது கொழுப்பின் சிதைவில் ஊக்கியாகிறது. இதனால் கொழுப்பு, கிளிஸராலாகவும் கொழுப்பு அமிலங்களாகவும் சிதை

கிறது. இதனுல் மூன்று எஸ்டர் இணைப்புகள், மூன்று மூலக்கூறு நீரை ஏற்கின்றன என்பது பெறப்படும்.

இனி கொழுப்பு அமிலங்கள் எங்ஙனம் சிதைக்கப்படுகின்றன என்று காண்போம்.

கொழுப்பு அமிலங்கள் ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுகின்றன. இந்த ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சியை β-ஆக்ஸிடேஷன் (B-oxidation) என்றழைக்கின்றனர். இதனுல் கொழுப்பு அமிலத்தில் காணப்படும் கார்பன்களை, இரண்டு கார்பன்களைக்கொண்ட துண்டுகளாக ஆக்ஸீகரணித்து அகற்றுதல் நிகழ்கிறதென்பர். இத்தகைய இரு கார்பன் துண்டுகளை, அஸிடேட்டாகவோ அல்லது அஸிடைல் ஃபாஸ்ஃபேட்டாகவோ கருதி வந்தனர். அஸிடேட்டிலிருந்து அஸிடைல் கோஏ உண்டாவதை இன்று நாம் அறிவோம்.

அஸிடைல் கோஏ என்ற அமைப்பில் இரு கார்பன்களைக் கொண்ட பகுதியும், கோஎன்ஸைம் ஏயும் காணப்படுகின்றன. பைருவிக் அமிலத்தின் ஆக்ஸீகரணத்திலும் அஸிடைல் கோஏ தோன்றுவதைப் பார்த்தோம். எனவே கொழுப்பு அமிலங்களின் சிதைவினுல் தோன்றிய பல அஸிடைல் கோஏ மூலக் கூறுகளும் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் புகுந்து ஆக்ஸீகரணிக்கப்படுகின்றன.

கொழுப்புக்களின் சிதைவில் கண்டறிந்த உண்மைகள் பல விலங்கினத்திலோ, நுண்ணுயிர்களிலோ நிகழ்த்திய ஆய்வுகளைக் குறிப்பன.

ஆனுல் தாவர மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களில் கொழுப்பு அமிலங்களைச் சிதைத்து, அஸிடைல் கோஏவை சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் ஆக்ஸீகரணிக்கக்கூடிய நொதிகள் இருந்தபோதிலும் பீடா ஆக்ஸீகரணத்தைத் தவிர வேறொரு வழியிலும் அவை கொழுப்பு அமிலங்களைச் சிதைப்பதாகக் கூறுகின்றனர்.

1956-லேயே ஸ்டம்ப் (Stumpf) என்பவர் அத்தகைய ஒரு புதிய வழியைக் கண்டுபிடித்தார். அதன்படி கொழுப்பு அமிலங்களைப் பெர்ராக்ஸிடேஸ் (Peroxidase) என்ற நொதி சிதைக்கிறது. பீடா ஆக்ஸீகரணத்தில் (B-oxidation) கொழுப்பு அமிலங்கள் இரண்டு கார்பன்களைக்கொண்ட துண்டுகளாக சிதைக்கப்படுவதை அறிவோம். ஆனுல் இந்தக் கிரியையில் கொழுப்பு அமிலங்களில் காணப்படும் ஒரு கார்பன் நீக்கம் அடைந்து, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடாக மாறுகிறது.

$$\text{கிரி. 1.}\quad R\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot CooH + 2\,H_2O_2 \xrightarrow{\text{பெர்ராக்ஸிடேஸ்}} CO_2 + R\cdot CH_2\cdot CHO + 3\,H_2O$$

ஒரு கொழுப்பு அமிலம்   ஹைடிரஜன் பெர்ராக்ஸைடு

இதனை ஆல்பா-ஆக்ஸீகரணம் (α-Oxidation) என்றழைக்கின்றனர்.

கிரியை 2

மேற்கண்ட கிரியையில் ஒரு ஆல்டிஹைடு உண்டாவதைப் பார்த்தோம். $R\cdot CH_2\cdot CHO$ ஆல்டிஹைடு பகுதி.

இது கிரியை 2-ல் அமிலமாக மாறுகிறது. இதற்கு NAD-ஐக் கொண்ட ஒரு நொதி உதவுகிறது.

$$R\cdot CH_2\cdot CHO + H_2O + NAD^+ \rightleftharpoons R\cdot CH_2\cdot CooH + NADH_2$$

மேற்கண்ட ஆல்ஃபா ஆக்ஸீகரணப் பாதையின் முக்கியத்துவத்தை இனிமேல் தான் கண்டறியவேண்டும்.

கொழுப்பு அமிலங்களின் வளர்மாற்றம் (Fatty acid Biosynthesis)

1953 வரை கொழுப்பு அமிலங்களின் வளர்மாற்றம், சிதை மாற்றங்களின் தலைகீழ் நிகழ்ச்சியாகக் கருதப்பட்டு வந்தது.

இன்று மெலோனைல் கோஎ வழியாகக் கொழுப்பு அமிலங்கள் கட்டப்படுவதை அறிவோம். கொழுப்பு அமிலங்களின் சேர்க்கையைக் கண்டறிய வேக்கில் (Wakil) என்பவரும் அவரது சகாக்களும் பல ஆய்வுகள் நிகழ்த்தினர்.

இதனை ஒரே சமன்பாட்டில் அடக்கிக் கீழ்வருமாறு குறிப்பிடலாம்.

$$\text{அஸிடைல் கோஎ} + 7\ \text{மேலொனைல்-கோஎ} + 14\ NADPH_2 + 14\ H^+ \longrightarrow \text{பாமிடைல்-கோஎ} + 14\ NADP + 7\ Co_2 + \text{கோஎ} + 7\ H_2O$$

இங்குக் குறிப்பிட்டுள்ள மேலோனைல்-கோஎ (Malonyl CoA) பாமிடிக் அமிலம் எனப்படும் கொழுப்பு அமிலமாகிறது. இது கொழுப்பு அமிலத்தை உண்டாக்கும் கிரியைகளில் ஓர் இடைப்

பொருளாக அமைவதைப் பல திசுக்களில் கண்டனர். ஆனால் உயர் தாவரங்களின் திசுக்களில் இவை காணப்படுவது இன்னும் நிச்சயிக்கவில்லை.

கொழுப்பு அமிலங்களின் வளர்மாற்றத்திற்குப்பல இணைநொதிகளும், நொதிகளும் தேவைப்படுகின்றன. இவை இரு நொதி குழுக்களும். 4 இணைகாரணிகளும், ATP-யும், குறைத்தல் அடைந்த NADP-யும், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும் அமைந்த ஒரு குழுவாகும்.

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் மேலோனைல்-கோஏ குறிப்பிடப்பட்டிருந்தது. இது அஸிடைல்-கோஏ, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை ஏற்று உண்டாகும் பொருள் என்று கண்டுபிடித்தனர். இதற்கு ஊக்கியாக அமைந்த பொருள், B-வைட்டமின்களில் ஒன்றான பயோடின் (Biotin) எனப்படுகிறது.

முதலில் ATP-யின் சிதைவில் வெளிவரும் சக்தி மேற்கண்ட கிரியைக்கு உதவுகிறது. ATP சிதைவுற்று அதன் மூன்றும் ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதி பயோடினோடு சேருகிறது. இதனால் பாஸ்போரைல் பயோடின் தோன்றுகிறது.

இனி கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு ஃபாஸ்ஃபோரில் பகுதியில் வந்து அமர்ந்து கார்போனைல் பயோடின் (Carbonyl biotin) தோன்றுகிறது. இந்த அமைப்பு கிளர்த்தப்பட்ட கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடைக் குறிப்பதாகும். இந்த நிலையில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு அஸிடைல்-கோஏ-வுடன் சேர்ந்து மேலொனைல்-கோஏ தோன்றுகிறது.

லினென் (Lynen) மேற்கண்ட கிரியைகளில், பாஸ்போரைல் பயோடின் உண்டாவதற்குப் பதிலாக அடினோஸின் டை பாஸ்போரைல் பயோடின் (Adenosine diphosphoryl biotin) உண்டாவதாகக் கூறுகின்றார்.

(அஸிடைல் கோஏ கார்பாக்ஸைலேஸ்) ———→
ATP + CO_2 + நொதி) ←———
ADP + நொதி + பயோடின் ⌣ CO_2

அடினோஸின் டை ஃபாஸ்ஃபோரைல் பயோடின் ⌣ கார்பன் டை ஆக்ஸைடு

இனி மேற்கண்ட கிளர்த்தப்பட்ட கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு அஸிடைல் கோஏ-வுடன் இணைந்து மேலொனைல் கோஏ உண்டாகின்றதென்று அறிவோம். இதனால் அஸிடைல்-கோஏ என்ற

அமைப்பிலுள்ள அஸிடிக் அமில மூலக்கூறுடன் ஒரு கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு சேர்ந்திருப்பதைக் காண்க.

பின்னர் வரும் மாற்றங்களைக் காண்போம்.

மேலொனைல்-கோஏ அஸிடைல் கோஏ மூலக் கூறுடன் இணைகிறது. இதனால் 5 கார்பன்கள் உள்ள ஓர் இடைப் பொருள் தோன்றுகின்றது.

இனி அதனுடன் ஹைடிரஜன் சேர்க்கப்படுகிறது. மற்றும் இரு கிரியைகளில் நீர் அகற்றப்பட்டு, குறைத்தலும் நடைபெறுகிறது. முடிவில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு நீக்கப்படுகிறது. இதனால் 4 கார்பன்கள் கொண்ட, கோஎன்ஸைம் ஏயுடன் இணைந்த ஒரு கொழுப்பு அமிலம் உண்டாகிறது.

இந்த 4 கார்பன்களைக்கொண்ட பொருள் மேலொனைல் கோஏ-வுடன் வினைபுரிந்து 7 கார்பன்கள் உள்ள ஒரு பொருளை உண்டுபண்ணுகிறது. இது பின்னர் 6 கார்பன் பொருளாக மாறும்.

மேற்கண்ட கிரியைகள் தொடர்ந்து மாறி மாறி நிகழ்வதால் C_{16}, போன்ற கொழுப்பு அமிலங்கள் தோன்றுகின்றன. எனவே மூன்று கார்பன் கொண்ட மேலொனைல் கோஏ ஒற்றைப் படையில் காணப்படுகின்றன. பின்னர், ஹைடிரஜன் இணக்கமும், ஒரு கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு மூலக்கூறு நீக்கமும் நிகழ்கிறது.

இங்கு ஹைடிரஜனை, $NADPH_2$ அளிக்கலாம் எனக் கருதப்படுகின்றது.

எந்தப் பகுதியில் கொழுப்பு அமிலங்கள் தயாராகின்றன? மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களில் கொழுப்பு அமிலங்களின் சிதைவு நிகழ்வதை அறிவோம். ஆனால் அவற்றின் வளர் மாற்றங்கள் அங்கு நிகழ்வதில்லை.

ஸைடோ பிளாசத்தின் சவ்வுகள் என்றழைக்கப்படும மைக்ரோஸோம்களில் (Microsomes) வளர் மாற்றங்கள் நிகழ்வதைக் கண்டு பிடித்துள்ளனர். எனவே சிதைமாற்ற சூழ்நிலையிலிருந்து வளர் மாற்றம் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது.

இனி, கட்டப்பட்ட கொழுப்பு அமிலங்கள் ஆல்கஹாலுடன் இணைந்து கொழுப்பு உண்டாக வேண்டும். இந்தக் கட்டத்தில் தான் மைட்டோகோண்ட்ரியா வினைபுரிகிறது. எனவே வளர்

மாற்றங்களின் முடிவான கிரியை மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களில் நிகழ்கின்றன.

மெழுகுகள்

தாவரத்தில் காணப்படும் மெழுகுகள் கொழுப்புக்களை ஒத்திருக்கின்றன. ஆனால் இவை கிளிஸரால் என்ற ஆல்கஹாலுக்குப் பதிலாக, நீண்ட கார்பன் தொடரைக் கொண்ட ஆல்கஹால்கள் கொழுப்பு அமிலங்களுடன் இணைந்துள்ளன இத்தகைய ஆல்கஹால்களில் 24லிருந்து 86 கார்பன் அணுக்கள் வரை காணப்படலாம்.

இவை பொதுவாகத் தாவர செல் சுவர்களில் காணப்படுகின்றன. சில சமயங்களில் ஸைடோ பிளாசத்தில் கரைந்த துளிகளாகக் காணப்படலாம்.

இவை கொழுப்புக்களைப் போலவே, கார்பன்-டை-ஸல்பைடு (Carbon disulphide) குளோரோஃபார்ம் (Choloroform) போன்ற கரைப்பான்களில் கரைகின்றன.

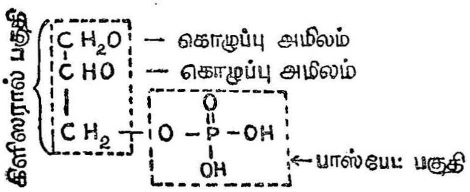
விதைகளில் (Seeds of Simmondsia Californica) இவை சேமிக்கப்படுகின்றன. விதை முளைத்தலின்போது இவை சிதைக்கப்படுகின்றன.

ஃபாஸ்ஃபோலிபிடுகள்

ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடுகள், லிபிடுகளின் வகைகளில் குறிப்பிடத்தக்கவை எனலாம். ஏனெனில் புரோட்டோபிளாசத்தின் அடிப்படை அமைப்பான, சவ்வுகளில் ஃபாஸ்ஃபோலிபிடு அமைந்துள்ளது.

ஃபாஸ்ஃஃபோலிபிடுகள் கிளிஸரால், கொழுப்பு அமிலங்கள், மற்றப் பொருள்கள் என மூன்று வகைப்பட்ட பகுதிகளைக் கொண்டிருக்கின்றன.

இங்குக் கொழுப்பு அமைப்பில் காணப்படுவதைப் போல் கிளிஸராலுடன் கொழுப்பு அமிலங்கள் இணைந்துள்ளன. ஆனால் மூன்று கொழுப்பு அமிலங்கள் காணப்படுவதற்குப் பதிலாக இரு கொழுப்பு அமிலங்களும், எஞ்சிய மூன்றும் ஹைடிராக்ஸில் பகுதியுடன் ஃபாஸ்ஃபேட்டும் சேர்ந்து காணப்படுகிறது, இதனை ஃபாஸ்ஃபாடிடிக் அமிலம் (Phosphatidic acid) என்றழைக்கின்றனர்,

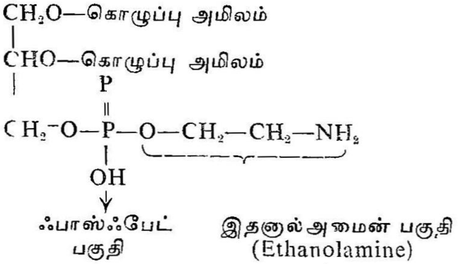


படம் 15.7. ஃபாஸ்ஃபாடிடிக் அமிலம்

இத்தகைய ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடு பல சிற்றினங்களின் இலைகளில் காணப்படுகிறது.

மற்ற ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடு அமைப்புகளில் மேற்கண்ட ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதி மற்றும் பல பொருள்கள் இணைவதற்கு உதவுகிறது. அங்ஙனம் இணையும் பொருள்களின் பட்டியல் பின்வருமாறு,

1 இதனால்அமைன் (Ethanolamine)
2. கோலைன் (Choline)
3. ஸீரைன் (அமினோ அமிலம்) (Serine-an amino acid)
4. ஸ்பிங்கோஸைன் (Sphingosine) (இது ஒரு நீண்ட 18 கார்பன்களைக் கொண்ட கூட்டுப் பொருள்)
5. கெலக்டோஸ் அல்லது குளுகோஸ்



படம் 15.8. ஸிபேலின் (Cephalin)

மேற்கண்ட படத்தில் ஸிபேலினுடைய மூலக்கூறு ஒன்று காட்டப்பட்டுள்ளது, இங்கு ஃபாஸ்ஃபாடிடிக் அமில மூலக் கூறுடன் இதனால்அமைன் என்ற பகுதி இணைவதைக் காண்க.

இதைப் போலவே, ஃபாஸ்ஃபேட் பகுதியின் வழியாக கோலைன் (Choline) என்ற பொருள் இணைந்து, லெஸிதின் (Lecithin) என்ற ஃபாஸ்ஃபோலிபிடை உண்டாக்குகிறது.

ஃபாஸ்ஃபோலிபிடுகளின் வேதி இயல்பும் மற்ற இயல்புகளும்

ஃபாஸ்ஃபோலிபிடுகளின் கொழுப்பு அமிலமும், ஃபாஸ் ஃபாரிக் அமிலமும் இருப்பதால் இவை இரு இயல்புகளைப் பெற் றிருக்கின்றன. கொழுப்பு அமிலப் பகுதிகள் மேற்கண்ட மூலக் கூறுகளுக்கு நீர் விரும்பா இயல்பினை (Hydrophobic property) அளிக்கின்றன; ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமிலப்பகுதி நீர் விரும்பு இயல்பினை அளிக்கின்றது. எனவே ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடு இரு துருவங்களைப் Dipolar) பெற்றிருக்கிறது என்பர்.

ஃபாஸ்ஃபோலிபிடு லெஸிதினில் இரு கொழுப்பு அமிலங்கள் அமைந்த பகுதி ஒரு புறமும், ஃபாஸ்ஃபாடிடைல் கோலைன் பகுதி மறுபுறமும் இரு துருவங்களைப்போல் உள்ளன.

எனவே எண்ணெய்-நீர் என்ற இரு திரவங்களின் இடையே ஃபாஸ்ஃபோலிபிடு மூலக்கூறுகள் தம்மை எளிதில் பொருத்திக் கொள்ள முடியும். அதாவது, கொழுப்பு அமிலப் பகுதி எண் ணெய்ப் பகுதியிலும், ஃபாஸ்ஃபாரிக் அமிலப் பகுதி நீரிலும் இருக்கு மாறு அமையலாம். செல்லினுள் இத்தகைய கலவா திரவங்களின் அமைப்பினை நிலைப்படுத்தும் திறனில் ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடுகள் பங்கேற்பதினால் அவற்றின் சிறப்பியல்பு தெளிவாகிறது.

சக்தியை உற்பத்தி செய்யும் மைட்டோகோண்ட்ரியாக்களின் சவ்வுகளிலும், உயிருடன் இயங்கும் தாவர வாழ்க்கைக்குத் தேவை யான உணவுப் பொருள்கள் அனைத்தையும் தயாரிக்கும் அடிப்படை அங்கமான பசுங்கணிகத்தின் எண்ணிறந்த சவ்வு அமைப்புகளின், அயனிகளின் பரிமாற்றத்திலும், நீரை உறிஞ்சுவதிலும், செல்லி லுள்ள பொருள்களின் பரிமாற்றத்திலும், ஒரு முக்கிய அரணாக அமைந்த பிளாஸ்மா சவ்விலும், நியூக்ளியஸ்ஸின் சவ்விலும், என்டோபிளாஸ்மிக் வலைச்சவ்விலும் ஃபாஸ்ஃபோலிபிடுகள் காணப் படுகின்றன. இவற்றோடு புரதமும், மடியாத சங்கிலியாகக் காணப் படுகிறது.

எனவே தாவரத்தின் வாழ்க்கையில் ஃபாஸ்ஃபோலிபிடு ஒரு முக்கிய அங்கப் பொருளாகும் எனலாம்.

மேற்கண்ட அனைத்தையும் சீர்தூக்கிப் பார்த்ததில் கொழுப்பு மெழுகு, ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடுகள் என்றழைக்கப்படும். லிபிடுகள் அனைத்தும் தாவரத்தின் முக்கியக் கூட்டுப் பொருள்களாகின்றன. இவை மூன்றும் கொழுப்பு அமிலங்களைப் பொதுவாகப் பெற்றிருந்தபோதிலும் பல சிறப்பான அம்சங்களைக் கொண்டிருப்பதால் வேறுபடுகின்றன. மேலும் இவை பல்வேறு வகைகளில், தாவரத்திற்குப் பயன்படுகின்றன.

கொழுப்புக்கள், ஏனைய உணவுச் சத்துக்களான கார்போஹைடிரேட்டுகளைப் போல் சேமிக்கும் பொருளாகின்றன. இவை விதைகளில் சேமிக்கப்பட்டு, முளைத்தலின்போது எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன. கொழுப்புகளின் சிதைவில் கார்போஹைடிரேட்டுகள் கூடக் கட்டப்படலாம் என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். இந்த மாற்றங்கள் கிளைஆக்ஸிலிக் அமில (Glyoxylic acid) சுழற்சியில் நிகழ்கின்றன.

மெழுகுகள் செல் சுவரில் காணப்படுகின்றன இலைகளின் புறத்தோலிலும், கனிகளின் புறத்தோலிலும் இவை குறிப்பிடத்தக்க வகையில் காணப்படுகின்றன.

ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடுகள் சிக்கலான அமைப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன. இவற்றில் ஃபாஸ்ஃபேட், கொழுப்பு அமிலம், மற்றும் பல கூட்டுப் பொருள்கள் காணப்படுகின்றன. ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடுகள் சைடோபிளாசத்தில் காணப்படுகின்றன. சைடோபிளாசத்தில் உள்ள எண்ணிறந்த சவ்வு அமைப்புகளில் ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடுகள் சேர்ந்திருத்தலும், வளர்சிதை மாற்றங்களில் புரதத்தோடு இணைந்த தளமாக அமைவதும் இங்குக் குறிப்பிடத்தக்கதாகும்.

16. உயிர்களின் தோற்றம்

தாவரம் ஓர் உயிரி என்று அறிவோம். உயிரின் இயக்கத்திற்கு சக்தி மாற்றங்கள் உதவுகின்றன என்றும் அறிவோம். சக்தி மாற்றங்களோடு அதன் வளர்சிதை மாற்றங்களும் பிணைந்து இயங்குவதை முன்வந்த அத்தியாயங்களில் கண்டோம். ஆனால் அத்தகைய உயிரியின் தோற்றம் எங்ஙனம் ஏற்பட்டது என்பதை அறியோம்!

உயிர் வாழ்க்கையின் தோற்றத்தைப்பற்றிப் பல கோட்பாடுகள் இருந்து வருகின்றன.

உயிரின் தோற்றம் பூமியில்தான் முதன்முதலில் தோன்றியது என்று கொண்டால், அத்தகைய பூமியின் முதல் அமைப்பினை ஆய்தல் வேண்டும்.

உயிரிகள் தோன்றுவதற்குமுன் பூமி மிகுந்த வெப்ப நிலையைக் கொண்ட பிளம்பாக இருந்ததென்பர். அத்தகைய சூழ்நிலை மாறினால்தான் அங்கு உயிரினம் வாழமுடியும் என்று கருதுகின்றனர். ஏனெனில் இன்று நாம் காணும் உயிரினங்கள் அனைத்தும் அதிக வெப்ப நிலையைத் தாங்க இயலாதவையாகும். ஏனெனில் உயிரின் இயக்கத்திற்கு முக்கியமான புரதங்கள் 50° சென்டி. அல்லது 60° சென்டி. வெப்பநிலைக்குமேல் செயலற்றுப் போகின்றன.

உயிரினம் ஒவ்வொன்றின் செயல் அலகும் செல்லாகும். செல் குழுக்கள் திசுக்களை அமைக்கின்றன.

திசுத் தொகுப்புகள் உயிரியங்கும் உடலின் அங்கங்களாகின்றன. இவை யனைத்திலும் புரோட்டோபிளாசம் எந்த ஒரு நிலையிலாவது காணப்படுகிறது. செல்லின் இயக்கத்திற்கு புரோட்டோபிளாசம் தேவைப்படுவதை அறிவோம். புரோட்டோபிளாசம் பல்வேறு அங்கப் பொருள்களைக் கொண்டிருந்தபோதும் புரதமும்,

லிபிடுகளும் பல அங்கங்களின் முக்கியப் பகுதிகளாகின்றன. வேதியியல் சோதனைச் சாலையில் கிரியைகளை ஊக்குவிக்க எரிபொருள்களையோ, உலோகங்களையோ, பிற சாதனங்களையோ உபயோகப்படுத்துவர். ஆனால் உயிரியங்கும் உடலில் புரதங்களே இப்பணியை, நொதிகள் என்னும் உருவில் செய்கின்றன.

எனவே உயிரின் அடிப்படை இயக்கத்திற்கு முக்கியமானது புரதம் எனலாம். உயிரின் தோற்றம் புரதத்தின் தோற்றத்தில் துவங்குவதாக ஒரு கோட்பாடு உள்ளது. புரதம் தோன்ற வேண்டுமானல் அதற்கெனத் தேவைப்படுவது அதன் சேர்க்கையைக் கட்டுப்படுத்தும் ஜீன் என அறிவோம்.

ஜீன்கள் பல நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடர்கள். அத்தகைய நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடர்கள் அமைந்த அமைப்பே DNA-வாகும்.

இதனல் நியூக்ளிக் அமிலமும் புரதமும் ஒன்றை ஒன்று சார்ந்திருப்பது பெறப்படும். ஜீன்கள் தோன்ற நொதிகள் தேவை. புரதங்கள் அல்லது நொதிகள் தோன்ற ஜீன்கள் தேவை. எனவே மேற்குறிப்பிட்டபடி, இவை ஒன்றையொன்று சார்ந்திருப்பதால் இவைகளின் தோற்றத்திற்குத் தேவையான காரணிகளின் தோற்றத்தை முதற்கண் ஆய்தல் வேண்டும்.

முதன்முதல் தோன்றிய உயிரி எத்தகைய அமைப்பைப் பெற்றிருக்க வேண்டும்? தற்காலத்தில் காணப்படும் உயிரினங்கள் சிக்கலான அமைப்புடையவை. இதனல் இவற்றிற்கு முன்னேடியான உயிரி மிக எளிய அமைப்புடன் இருந்திருக்கலாம். அந்த எளிய ஓர் உயிரின் அமைப்பில் அடிப்படைப் பொருள்களான நியூக்ளிக் அமிலங்களும் புரதமும் காணப்படவேண்டும்.

ஆனல் இவை எங்ஙனம் அத்தகைய ஓர் உயிரியின் அமைப்பைப் பெற்றன? இது மிகச் சிக்கலானதொரு புதிராகும்.

உயிரின் அடிப்படைக் கரு, தேவையான பல அணுக்களோ, மூலக்கூறுகளோ தற்செயலாக ஒன்று சேர்வதனல் ஏற்பட்டது என்பர். ஆனல் அதற்கான சூழ்நிலை ஏற்படுதல் மிகவும் கடினம் அல்லது அரிது என்றும் அறிவோம். ஒரு சிலரின் கருத்துப்படி, மேற்கண்ட உயிர்க்கரு தோற்றத்திற்குக் குறிப்பிட்ட காலமளிக்கப்பட்டிருந்தால் ஒருசில தனித்த, முக்கிய அணுக்களின் அல்லது மூலக்கூறுகளின் கலவி ஏற்பட்டு, ஓர் உயிரி தோன்றியிருக்கலாம். இத்தகையதொரு பொருள். பகுப்படைந்து மேலும் மேலும் அதன் எண்ணிக்கையைப் பெருக்கும் திறனைப் பெற்றிருக்கலாம்.

இதனால்தான் ருஷிய உயிர்வேதியியல் அறிஞர் ஏ. ஜே. ஓபேரின் (A. J. Operin 1938) தன்னுடைய நூலில், உயிர்களின் தோற்றத்தைப்பற்றிப் பின்வருமாறு குறிப்பிடுகின்றார். உயிரிகள் என்றால் அங்ககப் பொருளால் அமைந்த உருவம் என அனைவரும் அறிவோம். அங்கக உருவமற்ற நிலையில் அணுக்களை ஒன்றுதிரட்டி, அல்லது அனங்கக மூலக்கூறுகளை ஒன்றுசேர்த்து அங்கக உருவமாக்குதல் அரிதென அறிவோம். ஓபேரின் இதனை அறிந்து, உயிர்களின் தோற்றம் அங்ககப் பொருள்களின் (Organic Substances) சூழ்நிலையில் தோன்றியிருத்தல் வேண்டும் என்று குறிப்பிட்டார். இதனால் இன்று காணப்படும் அளவைவிட உயிர்கள் தோன்றுவதற்குமுன் பூமியின் பரப்பில் ஏராளமான அளவு அங்ககப் பொருள்கள் இருந்திருத்தல் வேண்டும்.

எனவே அங்ககப் பொருள்களின் தோற்றம் எங்ஙனம் ஏற்பட்டிருத்தல் வேண்டும் என அவர் ஆய்ந்தார். பூமியின் அடிப்படைப் பொருள்களாக உலோகக் கார்பைடுகள் (Metalic carbides) இருந்திருத்தல் வேண்டும். இவை நீருடன் வினைபுரிந்து எளிய ஹைடிரோ கார்பன்களை (Hydrocarbons) உற்பத்தி செய்தன. அத்தகைய ஹைடிரோ கார்பன்கள் மீதேன் (Methane) அஸிடிலீன் (Acetylene) போன்றவை எனலாம். இதனை மெய்ப்பிக்கும் வகையில் பல ஆதாரங்கள் உள்ளன. ஜுபிடர் என்ற வியாழக் கிரகத்தின் வாயு மண்டலத்தில் மீதேன் என்ற வாயுவும், அம்மோனியாவும் உள்ளன. மேலும் யூரேனஸ் என்ற (Uranus) கிரகத்திலும், நெப்ட்யூன் என்ற கிரகத்திலும் மீதேன் மட்டும் உள்ளது.

உயர்ந்த வாயு அழுத்தத்திலும், கதிரியக்கப் பொருள்களின் அயனீகரணிக்கக்கூடிய கதிர்வீச்சுகளினாலும், அல்லது சூரிய ஒளியிலிருந்து வரும் உயர்சக்தி வாய்ந்த கதிர்வீச்சுகளினாலும், மேற்கண்ட மீதேன் மூலக்கூறுகள் பல, ஒன்றாகலாம். பல கார்பன்கள் இணைந்தால், ஹைடிரோ கார்பன் சங்கிலிகள் தோன்றுகின்றன. இத்தகைய அமைப்பு பெட்ரோலியத்தில் காணப்படுகிறது. ஏராளமான அளவு பெட்ரோலியம் பூமியில் புதைந்து கிடக்கிறது. இவை உயிரினங்களிலிருந்து தோன்றியவை என்பதற்குப் பல ஆதாரங்கள் உள்ளன.

ஆனால் இத்தகைய பெட்ரோலியப் பொருள்கள் அனங்கக அமைப்புகளிலிருந்தும் தோன்றியிருக்கலாம் என்று கருதுகின்றனர்.

எனவே பெட்ரோலியம் போன்ற பொருள்கள் பூமியில் உயிரினங்கள் தோன்றுவதற்கு முன்னிருந்தே இருக்கவேண்டும்

என்பதற்கு ஆதாரங்கள் உள்ளன. இதனுல் அங்ககப் பொருள்கள் அமைந்த சூழ்நிலை இருந்திருக்க வேண்டும் என்பது பெறப்படும்.

அம்மோனியா போன்ற வாயு, உலோக நைட்ரைடுகள் (Metallic nitrides) நீருடன் வினைபுரிவதால் உண்டாகின்றன. அம்மோனியா வாயுவிலிருந்து, பல நைட்ரஜன் கூட்டுப் பொருள்கள் உண்டாகலாம்.

யூரே, மில்லர் (Urey & Miller) என்ற இருவர், அம்மோனியா, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு என்ற இரு வாயுக்களின் கலவையில் மின் கதிர்களை வீசி அமினோ அமிலங்களை உற்பத்தி செய்யலாம் என்று காண்பித்தனர். பூமியின் வாயு மண்டலத்திலும் இத்தகைய சூழ்நிலை இருந்திருக்க வழியுண்டு. நைட்ரஜன் காரங்கள் எனப்படும் ப்யூரீன்கள் (Purines) மேற்கண்ட முறையில் தோன்றலாம். ப்யூரீன்கள் நியூக்ளிக் அமிலத்தில் காணப்படும் சிறு அலகுகள் என அறிவோம். அல்ட்ரா வயலட் கதிர்கள் முன்னிருந்த பூமியின்மேல் பட்டதாகக் கூறுவர். இதனுல் அம்மோனியா போன்ற வாயு ஹைடிரோ கார்பன்களுடன் சேர்ந்து நைட்ரஜன் கூட்டுப் பொருள்கள் தயாராகலாம். இன்று பூமியின்மேல் படும் ஒளி அவ்வளவு தீவிரம் வாய்ந்ததல்ல என அறிவோம்.

அங்ககப் பொருள்கள் தயாரித்தலில் இன்று தாவரங்களில் நிகழும் ஒளிச்சேர்க்கையே தலையாய கிரியை என்று அறிவோம். கார்போஹைடிரேட்டு வகைகளையும், கொழுப்பு, அமினோ அமிலம் போன்ற பொருள்களையும் ஓரளவிற்குப் புரதங்களையும் பசுந் தாவரங்களிலுள்ள பசுங்கணிகங்கள் தயாரிக்கின்றன என்று கண்டு பிடித்துள்ளனர்.

எனவே ஒளிச்சேர்க்கைக்கு நிகரான ஒரு வேதியியல் மாற்றம் அந் நாளில் இல்லையென்றாலும், ஓரளவிற்காவது ஒளிச்சேர்க்கையை ஈடுசெய்யும் மாற்றங்கள் இருந்திருந்தால்தான் அங்ககப் பொருள்களின் சேர்க்கை ஏற்படும்.

இது அனங்ககச் சூழ்நிலையில் நிகழ்ந்ததென்பர். உலோக ஹைடிரைடுகள் (Metallic hydrides), வெப்பமான உலோகங்கள், ஹைடிரஜன் சூழ்நிலையில் தோன்றி யிருக்கலாம். இவை சக்தி வாய்ந்த குறைப்பான்களாக வினைபுரிகின்றன. இவை கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடை ஃபார்மிக் அமிலமாக மாற்றுகின்றன. சில சூழ்நிலைகளில் மேற்கண்ட மாற்றங்களினுல் சர்க்கரைப் பொருள்களும் உற்பத்தியாகலாம்.

அங்ககப் பொருள்களின் தோற்றத்திற்கென மற்ருெரு மார்க்கமும் உள்ளதென ஸி. வி. லோவ் (C. V. Lowe) என்பவரும், எம். டபிள்யூ. ரீஸ் (M. W. Reis) என்பவரும் கண்டு பிடித்தனர். இவர்களுடைய சோதனைகளுக்கு முன்னேடியாக இருந்தவை ஓரோ (Oro) என்பவருடையதாகும். ஹைடிரோ ஸயனிக் அமிலம், அம்மோனியா, நீர் போன்ற கலவையை 90°க்கு 18-மணி நேரம் உஷ்ணப்படுத்திஞல், பல பொருள்கள் உண்டாகின்றன. இவைகளில் 11 வகை அமினே அமிலங்கள் காணப்படுகின்றன.

ஓரோ, கிம்பால் என்ற இருவரும் மேற்கண்ட முறைகளில் நியூக்ளிக் அமிலங்களுக்கான சிறு அலகுகள் தோன்றுகின்றன என்று கூறுகின்றனர்.

இதனுல் மிக எளிய பொருள்களிலிருந்து, சில சூழ்நிலைகளில், உயிர் வாழ்க்கைக்குத் தேவையான சில முக்கியப் பொருள்கள் தயாராகி இருக்கலாம் என்று கருதுகின்றனர்.

ATP என்ற பொருள் செல்களின் சக்தி செலாவணி (Energy curreney of the cell) என்று அறிவோம். இது உயிர் வேதியியல் கிரியைகளிலெல்லாம் பங்குகொள்வதை முன்னரே கண்டோம். வளர்சிதை மாற்றங்களில் எல்லாம் ATP-யின் மாற்றங்களும் இணைந்துள்ளன. இத்தகைய ஒரு பொருள் நியூக்ளிக் அமிலத்தின் அமைப்பிலும் காணப்படுவதை அறிவோம்.

பொன்னம் பெருமா (Ponnam peruma) என்பவர் இத்தகைய பொருள்கள், அடினேன்-சர்க்கரை கூட்டுப் பொருள்கள் பல, ஈதைல் மெடாஃபாஸ்ஃபேட்டுடன் வினைபுரிவதால் தோன்றலாம் என்று கருதுகின்ருர்.

அங்ககப் பொருள்கள் அனைத்தும் எளிதில் ஆக்ஸீகரணிக்கப் படுகின்றன. இது ஆக்ஸிஜன் சூழ்நிலையில் நிகழும். எனவே அவை ஆக்ஸிஜன் சூழ்நிலையில் நெடுநாட்கள் நிலைப்பது அரிது. ஆனுல் பெட்ரோலியம் பல ஆயிரக்கணக்கான ஆண்டுகளாக நிலைத்துள்ளது. ஒருவேளை வாயு மண்டலத்திலுள்ள ஆக்ஸிஜன் அதனை அணுகாமல் இருந்திருக்கலாம். எனவே அத்தகைய ஆக்ஸிஜன் புகாத சூழ்நிலையில் மேற்கண்ட பல மாற்றங்கள் நிகழ்ந்திருத்தல் வேண்டும். சான்ருக, உலோகக் கார்பைடுகள், நைட்ரைடுகள் போன்றவற்றை நீர் மூடி அமிழ்த்தி யிருந்தால் காற்றுப் புக வழியில்லை.

அல்லது பூமியைச் சூழ்ந்த வெளி மண்டலத்தில் மிகக் குறைவான அளவில் ஆக்ஸிஜன் இருந்திருத்தல் வேண்டும். இத்தகைய

நிலைமை, முதன்முதல் காணப்பட்ட பூமியில் ஆக்ஸிஜன், உலோகங்களை ஆக்ஸீகரணித்ததால் செலவழிந்துபோய் ஏற்பட்டிருக்கலாம். இதனால் வாயுமண்டலம் குறைக்கும் தன்மையை அடைந்திருக்கலாம். இன்று காணப்படும் வாயுக்களின் அளவு சூரியனிலிருந்து தெறித்த அணுத் துகள்களாகத் தோன்றி யிருக்கலாம். இதில் எந்தக் கருத்தினை ஏற்றுக்கொள்வது என்பது புதிராகவே யுள்ளது. ஏனெனில் பூமியின் முதல் அமைப்பும், அதன் வளி மண்டலத்தைப்பற்றிய விவரங்களும் நமக்குத் தெளிவாகத் தெரியவில்லை.

டாக்டர் ஷ்ரேம் என்பவர் ஃபாஸ்ஃபேட்டுகளைப்பற்றி ஒரு குறிப்பினை வெளியிட்டார்.

ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் என்றவுடனே அவற்றின் சிறப்பு இதற்குள் நம் அனைவருக்கும் தெரிந்திருத்தல் வேண்டும். உயிர் வேதியியல் மாற்றங்கள் பல; அவற்றைச் சுருக்கமாக, வளர் சிதை மாற்றங்கள் எனலாம். இவை யிரண்டின் போக்கிலும் ஃபாஸ்ஃபேட்டுக்கள் முக்கிய அங்கம் வகிக்கின்றன. கார்போஹைடிரேட்டுக்கள் சிதைக்கப்படும்போது முதலில் அவை ஃபாஸ்ஃபரீகரணம் அடைகின்றன. வளர் மாற்றங்களின் பல படிகளும் ஃபாஸ்ஃபரீகரண நிகழ்ச்சிகளில்தான் துவங்குகின்றன.

உயர் சக்தி வாய்ந்த ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள்தான் ஓர் உயிரியின் உன்னத ஒழுங்கமைப்பைப் பாதுகாக்கின்றன. நியூக்ளியோடைடுகள் என்றழைக்கப்படும் நைட்ரஜன் காரம்—சர்க்கரை—ஃபாஸ்ஃபேட்டுக் கூட்டுப் பொருள்கள்தான், நியூக்ளிக் அமிலக் கட்டிடத்தின் சிறு அலகுகள் ஆகின்றன.

ஷ்ரேம் என்பவர், ஃபாஸ்ஃபேட்டு மூலக்கூறுகளை வெப்பப்படுத்தினால் அவை ஒன்றாகச் சேர்ந்து, பல ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட கூட்டுப் பொருளை உற்பத்தி செய்வதாகக் காண்பித்தார். இரு ஃபாஸ்ஃபேட் மூலக் கூறுகள் சேர்ந்தால் பைரோ ஃபாஸ்ஃபேட் (Pyrophosphate) என்ற மூலக்கூறு தோன்றும் என அறிவோம். மேலும் பல ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் சேர்ந்தால் பாலிஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் தோன்றலாம். இவை பல அங்ககப் பொருள்களோடு சேருகின்றன. இதனால் அடினோசின் ட்ரை ஃபாஸ்ஃபேட்டு போன்ற பொருள்கள் உண்டாகின்றன. இத்தகைய உயர் சக்தி வாய்ந்த ஃபாஸ்ஃபேட்டுகள் ஒளிக்கிரியைகளிலும், ஆக்ஸீகரண நிகழ்ச்சிகளிலும் கூட்டப்படுவதை நாம் அறிவோம்.

மேற்கண்ட விவரங்களெல்லாம் நியூக்ளிக் அமிலங்களின் தோற்றத்தை வலியுறுத்துவதைக் காண்க. இவைகளைச் சோதனைக் கூடத்தில் மேற்கண்ட முறைப்படி தயாரித்துக் காண்பித்தல் அரிது.

ஆனால் தாவரத்தில் இவை உற்பத்தியாகின்றன. அங்கு நொதிகள் அங்ககப் பொருள்களின் உற்பத்தியைத் திறம்படச் செய்கின்றன. பூமண்டலத்தில் உயிர்கள் தோன்றுவதற்கு முன்னர் முன் குறிப்பிட்ட அறிஞர்களின் கோட்பாடுகளின்படி மாற்றங்கள் நிகழ்ந்திருக்கலாம்.

எனவே நியூக்ளிக் அமிலத் தோற்றத்தில் உயிரின் தோற்றம் ஏற்பட்டுள்ளது என்பர். நியூக்ளிக் அமிலங்கள் புரதச் சேர்க்கையில் ஈடுபடுவனவாகும். இதுதான் உயிரின் அடிப்படைத் தோற்றம். ஓரளவிற்கு அதனை ஏற்றுக்கொள்ள முடியுமா என்று சிந்திக்க வேண்டும்.

அங்கக் கூறியலில் நியூக்ளிக் அமிலங்கள் கட்டப்படுகின்றன. இவை அதிலிருந்து வெளியேற்றப்பட வேண்டும். பின்னர் அவை புரதச் சேர்க்கையில் ஈடுபடுதல் வேண்டும். புரதச்சேர்க்கை என்று கூறும்போது சிறப்பாக நொதிகளின் சேர்க்கையைக் குறிப்பிட வேண்டும். நொதிகள் சிறப்பான புரதங்கள். மேலும் இன்று நாம் கண்டறிந்த நொதிகள் புரத அமைப்போடு பல சிக்கலான மூலக்கூறுகளையும் துணையாகக்கொண்ட ஹோலோ என்ஸைம் என்ற அமைப்பில் காணப்படுகின்றன. இந்த அமைப்பிலுள்ள புரத மாற்றப் பகுதியை இணை நொதி என்பர். இந்த இணை நொதி அங்ககப் பொருள்களான வைட்டமின்களிலிருந்து தோன்றியவற்றையோ, ஹீம் உருவம் என்றழைக்கப்படும் சிக்கலான அமைப்பையோ அல்லது இன்றுவரை தெளிவாக அறிய முடியாத சிக்கலான அங்கக—உலோக அமைப்பையோ கொண்டிருக்கின்றன. மேலும் இவை புரதத்துடன் இணைந்துள்ளன; தவிர சவ்வுகள் என்று கூறப்படும் செல்லின், புரத—ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடு அங்கங்களின் சிறப்பான பகுதிகளாக பல நொதிகள் காணப்படுகின்றன. இத்தகைய சவ்வு அமைப்புகள் ஒவ்வொரு செல்லிலும் காணப்படுவதை அறிவோம். செல்லின் சவ்வுகள் என்றவுடன் பிளாஸ்மா சவ்விலிருந்து என்டோ பிளாஸ்டிக் சவ்வு வரை பல சவ்வு அமைப்புகள் நினைவுக்கு வருகின்றன. இவைகளில் பசுங்கணிகச் சவ்வுகளும், மைட்டோ கோண்ட்ரியாவின் சவ்வுகளும், மிக மிக நுண்ணிய சிக்கலான அமைப்பையுடையவை. தொதிகள் என்ற குழுக்களில் மேற்கண்ட சவ்வுகளுடன் இணைந்த நொதிகளே பல அரிய வளர்சிதை மாற்றங்களில் பங்கு கொள்ளுகின்றன. எனவே நொதிகள்

செயல்பட்டு பல பொருள்களைக் கூட்டுகின்றன என்று நாம் கூறுவதற்கு முன்னர், அவை எந்த அமைப்பிலிருந்து இதைச் செய்கின்றன என்பதை அறிய வேண்டும்.

வளர் மாற்றங்களில் நொதிகள் பங்கு கொள்கின்றன. நியூக்ளிக் அமிலமும் புரதமும் கொண்ட உயிரிகளை வைரஸ் என அழைக்கிறோம். இவற்றின் புரதக் கூடுகளில் நியூக்ளிக் அமிலங்கள் காணப்படுகின்றன. இவை சுயேச்சையாக இயங்காவிடினும் ஓம்புயிரில் இயக்கம் பெறுகின்றன. மேற்கண்ட உயிர்த் தோற்றத்தின் கோட்பாடுகளின்படி உயிரிகளின் முன்னோடி வைரஸ் (Virus) போன்றதொரு அமைப்பாக இருந்திருத்தல் வேண்டும். ஆனால் ஓர் உயிரினத்தின் உதவியால்தான் வைரஸ் (Virus) பெருக்கமடைய முடியும். எனவே வைரஸ் போன்ற முதல் உயிரி, நியூக்ளிக் அமிலங்களும் புரதங்களும் தங்குவதற்கானதொரு சூழ்நிலையை ஏற்படுத்திக் கொண்டிருக்க வேண்டும். அத்தகைய சூழ்நிலைதான் இன்றுள்ள செல்லின் சைட்டோபிளாசத்தின் முன்னோடியாகும். அதனைப் புரோட்டோ செல் (Protocel) என்கின்றனர். ஆனால் அத்தகைய புரோட்டோ செல் அமைப்புகள் கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை. ஒரு சில பெட்ரோலியம் பொருள்களில் ஹைடிரோ கார்பன்கள் காணப்படுகின்றன. இவை உயிரிகளிலிருந்து வந்தன என்று கருதுகின்றனர்,

அமினோ அமிலங்கள் கிளைஸன் (Clycine) நீங்கலாக *l* அமைப்பை உடையன என்று முன்னரே கண்டோம், உயிரின் உடலமைப்பில் காணப்படும் மூலக் கூறுகள் பெரும்பாலும் *l* அமைப்பைக் கொண்டவை என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். இந்தகைய *l* அமைப்புக் கொண்ட பொருள்கள் மேற்கண்ட பெட்ரோலியம் பொருள்களில் காணப்படுவது குறிப்பிடத்தக்கதாகும்.

மேற்கண்ட புரோட்டோ செல்கள் படிப்படியாகப் பரிணமித்து இன்றுள்ள செல்களின் அமைப்பை அடைந்திருக்க வேண்டும்.

விண் கற்கள் என்றழைக்கப்படும் மீடியோரைட்டுகளில் (Meteorites) அங்ககப் பொருள்களான ஹைடிரோ கார்பன்கள் இருப்பதைக் கண்டுபிடித்துள்ளனர், இவைகள் தோன்றும் விதத்தைப் பற்றிய பல ஐயங்கள் உள்ளன. சில மின் கற்களில் கார்பன் கூட்டுப் பொருள்கள் அதிகமாகக் காணப்படுகின்றன. இதில் காணப்படும் பொருள்கள் உயிரிகளில் உற்பத்தியாகும் அமினோ அமிலங்கள், ப்யூரீன்கள், நீண்ட ஹைடிரோ கார்பன் சங்கிலிகள் போன்ற அங்ககப் பொருள்களைக் கொண்டிருக்கின்றன என்று ஆய்ந்தறிந்துள்ளனர். நுண்ணோக்கிகளில் இந்தக் கற்

களின் வெட்டுத் தோற்றங்களைக் கண்டதில் அவை பல நுண்ணிய பொருள்களைக் கொண்டிருப்பதைக் கண்டனர். இவை உயிரிகளின் பாதுகாக்கப்பட்ட எச்சங்கள் என்று கருதுகின்றனர், பல ஆயிரக்கணக்கான இத்தகைய அமைப்புகள் மின்கற்களில் காணப்பட்டன. இவைகள் பூமிக்கும் அப்பாற்பட்ட கிரகங்களில் தோன்றியவையா? அங்ஙனமாயின் அண்டவெளியில் (in space) ஒளிச் சேர்க்கையின் உதவியில்லாமலேயே அங்ககப் பொருள்கள் கட்டப்படலாம்.

இவையனைத்தையும் சீர் தூக்கிப் பார்க்கையில் உயிர்களின் தோற்றம் பற்றிய முடிவான கருத்து இன்னும் உருவாக வில்லை எனலாம்.

உயிர் என்னும் அமைப்பு ஒரு புதிராத புதிராகவே யுள்ளது.

வைரஸ்கள் புரத நியூக்ளிக் அமில மூலக் கூறுகளாலாகிய எளிய அமைப்பாக இருக்கலாம். ஒரு சில படிக அமைப்புகளில் தென்படலாம். ஆனால் ஒரு சில உயர்தாவரங்களைத்தான் அவை பாதிக்கின்றன. அந்தத் தாவர செல்களின் சூழ்நிலையில்தான் இயங்குகின்றன. இவைகளின் விந்தையான உயிரியக்கத்தை எங்ஙனம் வகைப்படுத்துவது?

இத்தகைய உயிரினங்கள் ஒருபுறமிருக்க நுண்ணிய அமைப்பை யுடைய ஒரு செல் உயிரிகள் பல ஆயிரக்கணக்கானவை உள்ளன. இவற்றிலும் சீரிய அமைப்பு காணப்படுகின்றது. பாக்டீரியாக்கள் சில பூஞ்சைகள், சில ஆல்ஜிபாசிகள், மேற்கண்டபடி ஒரு செல் உயிரிகளாகும். இவைகளிலும் சுய ஜீவிகள் என்றழைக்கப்படும் உயிரிகளில் ஒளிச்சேர்க்கை, நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு போன்ற அரிய உயிர்வேதியியல் கிரியைகள் நிகழ்கின்றன. நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு சிக்கலான அமைப்புடைய உயர் தாவரங்களில்கூட சுயேச்சையாக நிகழ்வதில்லை.

ஒரு செல் தாவரங்கள் இத்தகைய வினைகளினால், எளிய ஒரு செல் அமைப்பையே பெற்றிருந்தபோதும் சிறப்பான சுய ஜீவிகளாகின்றது.

பல திசுக் குழுக்களாலாகிய உயர் தாவரங்களும் பூவாத் தாவர வகைகளும் தாவர உயிரிகளின் வகைகளைப் பன்மடங்காகப் பெருக்குகின்றன. அவைகளின் அடிப்படை அலகுகள் செல்கள் என்றபோதிலும் செல்களுக்கிடையே ஒரு சீரிய பிணைப்புக் காணப்படுகிறது. அவற்றின் வளர்ச்சியும் சுயேச்சையான வாழ்க்கையினை

அமைத்தலில் அவற்றின் பங்கும் மிகச் சீரிய ஒழுங்கமைப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன.

இத்தகைய ஓர் உயிரின் தோற்றம் இயற்கையின் அரிய படைப்பாகும். அதன் நுணுக்கமே ஒரு பெரும் புதிராக இருக்கும் போது அதனுடைய தோற்றத்தை எங்ஙனம் நிச்சயிக்க இயலும்?

உயிர் எதிர் பொருள்கள் (Antibiotics)

பூஞ்சைகளில் பெனிஸிலியம் நொடேடம் (Penicillium notatum) என்பது ஒருவகை உயிரி. இது அஸ்கோமைஸீட் இனத்தைச் சேர்ந்தது. இதிலிருந்து உற்பத்தியாகும் பொருள் ஒன்று ஒட்டுண்ணிகளான சில பாக்டீரியாவை எதிர்த்துப் போராடும் தன்மையைப் பெற்றிருக்கிறது. அத்தகைய எதிர் உயிரிகளை இன்று அறிவுலகம் நன்கு அறிந்துள்ளது. அவற்றின் செயலும் மிகத் தீவிரமானதாகும்.

சர். அலெக்ஸாண்டர் ஃப்ளெமிங் (Sir Alexander Fleming) 1929-ல் பல பாக்டீரியக் காலனிகளை வளர்த்து வந்தார். ஒரு சில பாக்டீரியக் காலனிகள் உள்ள கண்ணாடித் தட்டுகளில் மேற்கண்ட பெனிஸிலியம் தற்செயலாக வளர ஆரம்பித்ததைக் கண்டார். அந்தப் பகுதியைச் சுற்றிலும் பாக்டீரியா வளரவில்லை. இதனால் பாக்டீரியாவின் வளர்ச்சியைப் பாதிக்கும் பொருள் பெனிஸிலியத்திலிருந்து வந்திருக்கவேண்டும் என்று அறிந்தார். அந்தப் பூஞ்சையிலிருந்து ஒரு பொருள் வெளி வருவதைக் கண்டு பிடித்தார். இதனைப் பெனிஸிலின் என்று அழைத்தார். இது பாக்டீரியாவின் வளர்ச்சியைத் தடை செய்தது.

பூஞ்சையிலிருந்து வெளிவந்த பெனிஸிலின் (Penicillin) என்ற பொருளை இரண்டாம் உலகப் போருக்கும் பின்னர்தான் பிரித்தெடுத்தனர். இதனைச் சோதனைக் கூடத்தில் உற்பத்திசெய்வது கடினமாக இருந்ததினால், மேற்கண்ட பூஞ்சையைப் பெருவாரியாக வளர்த்தே இப் பொருளைப் பிரித்தெடுத்தனர்

பல பெனிஸிலின் வகைகள் இருப்பதாகக் கண்டுபிடித்துள்ளனர். அவைகளைப் பெனிஸிலின் F, பெனிஸிலின் G, பெனிஸிலின் K என்று குறிப்பிடலாம். பலதரப்பட்ட பெனிஸிலின் வகைகளை உற்பத்திசெய்யலாம் என்றும் கண்டுபிடித்துள்ளனர்.

பாக்டீரியத்தின் வளர்ச்சியைத் தடை செய்யும் பொருள்களில் பெனிஸிலியம் மிகச் சிறந்தது எனக் கண்டுபிடித்துள்ளனர்.

பாக்டீரியாவில் இருவகை உயிரிகள் உள்ளன என்று அறிவோம். ஒருவகை பாக்டீரியாவை 'கிராம்-பாஸிடிவ்' (Gram-positivc) என்று அழைக்கின்றனர். இவை கிராம் என்பவர் கண்டுபிடித்த சாயத்தை ஏற்கின்றன. இந்த சாயத்தை ஏற்கும் பாக்டீரியாவின் செல் சுவர்களில் ஒரு சில தனிப்பட்ட அமிலக் கூட்டுப் பொருள்கள் காணப்படுகின்றன. பெனிஸிலின் என்ற பொருளை பாக்டீரியாவினுல் பாதிக்கப்பட்ட உயிரிக்கு அளித்தால் பாக்டீரியா, பகுப்படைந்து பெருக முடியாமல் மறைந்துவிடுகின்றன. ஆனுல் 'கிராம்-நெகடிவ்' (Gram-negative) என்று அழைக்கப்படும் பாக்டீரியாவில் மேற்கண்ட செல் சுவர் அமைப்பு இல்லாததினுல் பெனிஸிலினுல் அவை பாதிக்கப்படுவதில்லை.

பாக்டீரியா வகைகளில் முதலில் பெனிஸிலினுல் பாதிக்கப்பட்டவைகூட, பின்னர் பெனிஸிலினை எதிர்க்கும் சக்தியைப் பெற்றதைக் கண்டுபிடித்தனர். இந்தத் தடுப்புப் பொருள் ஒரு நொதி உருவில் காணப்படுகிறது என்று கண்டுபிடித்தனர். இது பெனிஸிலினேஸ் (Penicillinase) எனப்படுகிறது. இத்தகைய நொதி பெனிஸிலினைச் சிதைத்து அதன் தன்மையை அழித்து விடுகிறது. பெனிஸிலின் செல் சுவர் கட்டுவதைத் தடுக்கிறது. நொதி பெனிஸிலினைச் சிதைக்குமானுல் மேற்கண்ட கிரியை தடைபடுகின்றது. செல் சுவர் அமைந்தால்தான் பாக்டீரியா பெருக முடியும்.

திடீரெனப் பெனிஸிலினைத் தடுக்கும் நொதி ஒன்று பாக்டீரிய உயிரினத்தில் தோன்றிப் பெனிஸிலினை எதிர்க்கின்றது. நொதிகள் ஜீன்களின் வினையால் தயாராகின்றன என்று அறிவோம். இங்கு ஒரு சடுதிமாற்றம் நிகழ்ந்துள்ளதை அறியலாம். ஏனெனில் பல நாள் பெனிஸிலினை எதிர்க்க இயலாது. மறைந்த செல்கள் திடீரென இத் தன்மையைப் பெறுவது சடுதி மாற்றங்களினுலேயே சாத்தியமாகும்.

எனவே பெனிஸினிலிருந்து பல செயற்கைப் பொருள்களைத் தயாரித்து, அவை பெனிஸிலினேஸ் நொதியால் பாதிக்கப்படாத அமைப்பிற்குக் கொண்டுவர முனைகின்றனர். இதனை இயற்கையோடு நிகழ்த்தும் போராட்டம் எனலாம்.

பல நுண்ணுயிர்களிலிருந்து மேற்கண்ட பெனிஸிலினைப் போன்ற எதிர் உயிரிகளைத் தயாரித்துள்ளனர். அவற்றில்

ஆக்டினோமைஸின் (Actinomycin) என்ற பொருளை வாக்ஸ்மேன் 1940-ல் ஆக்டினோமைஸீஸ் என்ற உயிரியிலிருந்து பிரித்தெடுத்தார். இது மிகுந்த தீவிரம் வாய்ந்த பொருளாகும். இந்தப் பொருளை ஓரளவிற்கு மாற்றி அமைக்கும் முயற்சியில் ஈடுபட்டுள்ளனர். இவை அஞ்சல் RNA உற்பத்தியைத் தடை செய்கின்றன என்று முன்னரே கண்டோம். இதனால் இது DNA மூலக்கூறு வினைபுரியாமல் தடை செய்கிறதெனலாம். எனவே புரதச்சேர்க்கை நின்றுவிடுகிறது. புரதச் சேர்க்கை இல்லாவிடில் பாக்டீரியா பகுப்படைந்து புதிய செல்களை எங்ஙனம் தோற்றுவிக்க முடியும்? இத்தகைய எதிர்ப்பினால் பாக்டீரியாவின் வளர்ச்சி தடைபடுகின்றது.

1944-ல் வாக்ஸ்மேன் (Waksman) ஸ்ட்ரெப்டோமைஸீன் என்ற பொருளையும் ஒரு நுண்ணிய, மண்ணில் வாழ் உயிரியிலிருந்து பிரித்தெடுத்தார். இது 'கிராம்-நெகடிவ்' பாக்டீரியாவைக் கூடப் பாதிக்கின்றது. அவற்றில் சில மிகப் பயங்கரமான நோய்களை விளைவிக்கின்றன என்று அறிவோம். சான்றாகக் காசநோய் (Tuberculosis), மூளைச்சுரம் என்றழைக்கப்படும் மெனின்ஜைடிஸ் (Meningitis), ந்யூமோனியா (Pneumonia) ஷிஜெல்லா டிஸென்டெரி (Shigella dysentery) போன்ற நோய்களை மேற்கண்ட பாக்டீரியா விளைவிக்கின்றன. மேலும் ஸ்ட்ரெப்டோமைஸீன் 'கிராம்-பாஸிடிவ்' என்று கூறப்படும், பெனிஸிலினை எதிர்க்கக்கூடிய பாக்டீரியாவையும் எதிர்க்கின்ற சக்தியைப் பெற்றிருக்கின்றது.

இவற்றைத் தவிர பல உபயோகமுள்ள பொருள்களையும் கண்டுபிடித்துள்ளனர். அவைகளில் டெட்ராஸைக்ளின் (Tetracycline) என்ற வகையில் பல பொருள்கள் காணப்படுகின்றன. அவை குளோர் டெட்ராஸைக்ளின் (Chlor tetracycline), ஆக்ஸிடெட்ராஸைக்ளின் (Oxy tetracyclin)என்பவை இரண்டாம் ஆக்ஸி. டெட்ராஸைக்ளின் என்பது டெர்ராமைஸீன் (Terramycin) என்றும் அழைக்கப்படுகிறது. இது ஆக்ஸீகரணிக்கப்பட்ட டெட்ராஸைக்ளின் வகைப் பொருளாகும்.

க்ளோராம்ஃபீனிகால் (Chloramphenicol) என்பது குளோரோமைஸிடின் என்ற எதிர்ப்புயிரியாகும். வைரஸ்களை எதிர்க்கும் பொருள்களும் இதனால் பெறப்பட்டன. மேற்கண்ட டெட்ராஸைக்ளின் பொருள்களுக்கு அத்தகைய சிறப்புத்தன்மை காணப்படுகிறது. இவை வைரஸ், ஓம்புயிர்களில் பகுப்படைந்து பெருகுவதைத் தடைசெய்கின்றன.

ஒரு சில உயிர் எதிர்ப்பொருள்களைத் தற்செயலாகக் கண்டுபிடித்துள்ளனர். அவற்றில் ஸல்ஃபோனமைடுகள் (Sulphonamidcs) என்ற ஸல்ஃபர் மருந்துகள் சிறந்தவையாகும். இது சாயங்கள் தயாரிக்கையில் கிடைத்த இடைப்பொருளாகும். ஒருசில எலிகளின் நோய்த் தடுப்பிற்கு இவை பயன்பட்டன. அந்த எலிகள் பாக்டீரியாவினுல் பாதிக்கப்பட்டிருந்தன. புரோன்டோஸில் (Prontosil) என்ற ஒரு சாயத்தை எலிகளுக்கு அளித்தபோது, அது பாக்டீரியாவைக் கொன்றது. ஆனல் சோதனைக் குழலில் இதைச் செய்ய வில்லை. இதனை ஆய்ந்ததில், இது ஓம்புயிரியில் மாற்றம் அடைந்து ஸல்ஃபோனமைடை உண்டாக்குவதைக் கண்டு பிடித்தனர்.

இவை எங்ஙனம் பாக்டீரியாவை எதிர்த்துப் போராடுகின்றன என்பதையும் தற்செயலாகத்தான் கண்டுபிடித்தனர்.

பேரா அமினே பென்ஸோயிக் அமிலம் ஸல்ஃபோனமைடுகளின் எதிர்ப்புத்தன்மையைப் பாதிப்பதைக் கண்டுபிடித்தனர். பேரா அமினே பென்ஸோயிக் அமிலம் ஒரு வைட்டமின். இது இணை நொதியாக பாக்டீரியாவின் வேதியியல் மாற்றங்களில் பங்கு கொள்கின்றது. ஸல்ஃபோனமைடு மேற்கண்ட அமிலத்திற்குப் பதிலாக வினைபுரிந்து, பாக்டீரியாவின் உயிர்வேதியியல் கிரியைகளை மாற்றிவிடுகின்றது. மேற்கண்ட எதிர்ப்பு உயிரி பேரா அமினே பென்ஸோயிக் அமிலத்தைப்போன்று, ஓரளவு உருவ ஒற்றுமையைக் கொண்டிருப்பது. பேரா அமினே பென்ஸோயிக் அமிலத்திற்குப் பதிலாக நொதியுடன் பிணைந்துவிடுகிறது. எனவே பேரா அமினே பென்ஸோயிக் அமிலம் தன்னுடைய இணைநொதி தளத்தை இழந்துவிடுகிறது. இதனுல் நொதியின் கிரியை பாதிக்கப்படுகின்றது. மேற் கண்ட நிகழ்ச்சிகள் அனைத்தும் பாக்டீரியத்தின் இறப்பில் முடிகின்றன.

இங்கு ஒட்டுண்ணியைப் பாதிக்கும் மருந்து ஏன் ஓம்புயிரையும் பாதிப்பதில்லை என்ற ஐயம் எழலாம். ஓம்புயிரான மனிதன், விலங்குபோன்ற உயிரிகளில் நிகழும் உயிர்வேதியியல் மற்றங்களும் பாக்டீரியாவில் நிகழ்வனவும் ஒத்ததாக இருந்த போதிலும், ஒரு செல் உயிரிகளின் வேதியியல் மாற்றங்களில் தடை ஏற்படும்போது அதன் விளைவு விபரீதமாகிறது. ஆனல் பல ஆயிரக்கணக்கான செல் குழுக்களைக்கொண்ட உயிரிகளில் இந்த நிலைமையில்லை. எனவே செல்களின் தொகுப்புகள் எத்தகைய நன்மையை விளைவிக்கின்றன என்பதை நாம் சிந்திக்க வேண்டும்.

உயிரின் தோற்றம் எங்ஙனம் ஏற்பட்டிருக்க முடியும் என்று ஆய்வதாகக் கண்டோம். ஆனால் உயிர் என்னும் அமைப்பினை எங்ஙனம் விளக்கிக் கூறுவது ?

உயிர் என்ற பதத்திற்கு வெப்ஸ்டர் (Webstor) தன் புகழ் பெற்ற அகராதியில் விளக்கம் கூறுகிறார்.

உயிருள்ள ஒன்றிற்கு அமைந்த உயிர்ச் செயல் என்னும் பண்பு அதனை உயிரற்ற சடலத்திலிருந்தும், வெறும் வேதியியல் தன்மையை மட்டும் பெற்றிருக்கும் பொருள்களிலிருந்தும் பிரித்துக் காட்டுகின்றது.

உயிரெனும் தத்துவம் அல்லது சக்தி விலங்குகளையும் தாவரங்களையும் தத்தம் வாழ்க்கை இயக்கத்தை நடத்த உதவுகிறது ; மேலும் இத் தன்மையால் உயிருள்ளன; உயிரற்றன என்ற பாகுபாடும் தோன்றுகிறது, உயிருள்ளவற்றைச் சிக்கலான அமைப்புடையவை எனலாம். அல்லது வளர்சிதை மாற்றங்கள் நிகழ்த்தியும், இனப்பெருக்கம் செய்தும், தக அமைப்புப் போன்ற சிறப்பியல்புகளைக் கொண்டும். இயங்குவதையும் உயிரி என்று குறிப்பிடலாம்.

மேற்கண்ட இந்த விளக்கங்களால் மனிதன், விலங்கினம், தாவரம் அனைத்தும் உயிரினத்தின் கீழ் வருகின்றன. ஆனால் இந்த விளக்கத்தின்படி வைரஸ்கள் (Viruses) என்றழைக்கப்படும் வடிப்பான் புகு நுண்ணுயிர்களை எங்ஙனம் வகைப்படுத்துவது ? அவைகள் சுயேச்சையாக வளர்ந்து இனப்பெருக்கம் செய்வதில்லை. மற்றொரு ஓம்புயிரியின் செல்லில்தான் மேற்கண்டவாறு செயல்படுகின்றன. எனவே அவற்றின் வளர்சிதைமாற்றங்களுக்கு ஒரு சூழ்நிலை தேவைப்படுகிறது. ஆனால் அந்தச் சூழ்நிலை கிடைத்தவுடன் வைரஸின் DNA ஓம்புயிரின் வளர்சிதை மாற்றங்களையெல்லாம் மாற்றி அமைத்துவிடுகின்றது. எனவே வைரஸ்களை நாம் உயிரி என்றே கூறலாமல்லவா ?

வைரஸ்கள் உயிரிகள் என்றால் அவைகளின் அமைப்பென்ன ? அவை, மனிதன், உயர் விலங்குகள், உயர் தாவரங்கள் போன்ற உயிரினங்களைப் போன்ற செல் குழுக்கள் பல அமைந்த பெரிய உடலமைப்புடன் காணப்படுவதில்லை. மிக எளிய அமைப்பை வுடையன என்று அறிவோம். அவற்றின் முக்கியப் பகுதி DNA மூலக் கூறு எனலாம். இதனைச் சுற்றிப் புரதம் அமைந்துள்ளது. புரதத்தினை ஒரு காப்புச் சுவர் எனக் கொண்டால் எஞ்சியிருப்பது DNA ஒன்றுதான், எனவே வைரஸ்களை உயிரிகள் என்று அழைத்

தால், DNA மூலக்கூறுகளையும் ஓர் உயிரி என்று அழைக்கலாமல்லவா ?

இன்று கொரானு, கோன்பெர்க் என்ற இருவர் தயாரித்த நியூக்ளிக் அமிலங்களும் மேற்கண்ட வைரஸ் உயிரியில் காணப்படும் நியூக்ளிக் அமிலத்தைப் போல் செயல்படுகின்றன. இதனுல் இவைகளும் ஓர் உயிரினங்களல்லவா? அல்லது உயிரிகளைப் பற்றிய விளக்கத்தைத்தான் மாற்றி அமைக்க வேண்டுமா ?

கோர்ன்பெர்கின் DNA, பகுப்படைந்து பெருகும் தன்மையைப் பெற்றிருக்கிறது. இது ஒரு வேளை பரிணமிக்கும் திறனையும் பெற்றிருக்கலாம். DNA மூலக்கூறு அங்கக வேதியியல் பொருள்களால் ஆகியது. உயிரற்ற அந்தப் பொருள்களைச் சேர்த்து உண்டாக்கிய நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடரே DNA என்று அறிவோம். அவைகளை ஒன்று சேர்த்தவுடன் அவை இயங்கும் ஓர் அமைப்பாகின்றன. அத்தகைய பொருள்கள் அடினைன், குவனைன், ஸைடோசீன், தைமீன் என்று அறிவோம். இவற்றில் ஓர் உயிர் சக்தி பொதிந்து கிடந்து, அவை சேர்க்கப்பட்டவுடன் வெளித் தோன்றுகின்றதா? நியூக்ளியோடைடுகளின் தொடர்கள் ஜீன்கள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இவை புரதச் சேர்க்கையில் ஈடுபடுகின்றன. புரதங்களில் நொதிகள் எனப்படுபவை சிறப்பான அமைப்புகள். ஏனெனில் வளர்சிதை மாற்றங்களிலிருந்து உயிரியக்கத்தின் கிரியைகளிலெல்லாம் பங்கு கொள்கின்றன. எனவே வைரஸ்களில் DNA (அல்லது RNA) அமைப்பு மட்டும் புரதத்துடன் காணப்படுகிறது.

வேதியியல் பொருள்களால் மட்டும் கட்டப்பட்ட நியூக்ளியோடைடுகள், பல மூலங்களின் அணுக்களைக் கொண்டிருக்கின்றன. எனவே முடிவில் வேதியியல் பொருள்களின் அடிப்படை அலகிற்கே வந்துவிட்டோம். உயிர் என்னும் அமைப்பில் ஹைடிரஜனும்-மூலங்களும் வேதியியல் கூட்டுப் பொருள்களும், அவைகளால் கட்டப்பட்ட நியூக்ளிக் அமில மூலக்கூறுகளும், நியூக்ளிக் அமில மூலக்கூறுகள் உருவாக்கும் புரதங்களும், புரத நியூக்ளிக் அமிலத்தை மட்டும் கொண்ட வைரஸ்களும், ஒரு செல் என்னும் அமைப்பில் வைரஸ்களைவிட உயர்ந்த ஒழுங்கமைப்பையுடைய பாக்டீரியாவும் இவற்றைவிட மிகச் சிக்கலான அமைப்பையுடைய மனிதன் விலங்கு, உயர் தாவரம் என்ற உயர் உயிரினங்களும் ஒருங்கே வருகின்றன. இந்தத் தொடரில் எந்தப் பகுதி உயிரெனும் அமைப்பில் அடங்கும், எந்தப்பகுதி உயிரற்றது என்ற வினுக்களுக்கு விடையளிப்பது மிகக் கடினம். எனவே உயிருக்கு விளக்கமளிப்பது எளிதல்ல.

இதனையே பீடில் (Beadle) என்ற அறிஞர் பின்வருமாறு மிக அழகாகவும் பொருத்தமாகவும் குறிப்பிடுகின்றார்: மேற்கண்ட தொடரில். உயிருள்ளவற்றிற்கும் உயிரற்றவற்றிற்கும் எல்லை ஏதாவது உள்ளதா? "(......... " is there a boundary between life and non-life?")

இவையனைத்தையும் ஆய்ந்து பார்க்கையில் உயிர்களின் தோற்றம் ஒரு பெரிய புதிர் என்பது விளங்கும். ஹைடிரஜன், மூலகங்கள், அணுக்கள் வேதியியல் பொருள்கள் போன்றவைகளை அடிப்படையாக வைத்தே உயிரினங்கள் அமைந்துள்ளன. தனித்துக் காணப்படும் வேதியியல் பொருள்களுக்கு உயிரியக்கம் இல்லை உயிரியக்கம் கொண்ட அமைப்புகளில் காணப்படுபவை அனைத்தும் வேதியியல் பொருள்களே என அறிவோம். ஆனால் அவைகள் எங்ஙனம் உயிரியக்கம் கொண்ட சீரிய ஒழுங்கமைப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன என்பது விந்தையாக உள்ளது.

உயிர்களின் தோற்றத்தைப்பற்றிய மத சார்பற்ற மேற்கண்ட கருத்துகளே பெரும் புதிர்களாக இருக்கும்போது, மதக் கோட்பாடுகளைப் பற்றிக் கூறமுடியுமா என்ற வினா எழலாம். வான வெளி மண்டலம், கிரகங்கள், என்ற அமைப்புகள் உள்ளன. அவை தத்தம் நிலைகளில் இயங்கும் தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றன. வானவெளி மண்டலமும் சூரியனின் தன்மைகளையும் ஓரளவு அறிவோம். ஹைடிரஜனும், மூலகங்களும் பல சேர்க்கை முறைகளில் வேதியியல் கூட்டுப் பொருள்களை உண்டாக்குவதாகவும் அறிவோம். இவை யனைத்தும் எங்ஙனம் தோன்றின?

கிரகங்களின் இயக்கமும், உயிர்களின் இயக்கமும், வேதியியல் பொருள்களின் சேர்க்கையும், சிதைவும், மற்றும் பல மாற்றங்களும் சக்தியால் நிகழ்கின்றன ஒவ்வொன்றிலும் சக்தி செலவிடப்படுகின்றது. பல சாதனங்களைப் பயன்படுத்தி சக்தி சேமிக்கப்படுகிறது. உயிர்கள் தம் சீரிய ஒருங்கமைப்பை நீடித்த காலம் பெற்று நிலைத்திருப்பதற்கு பயனுள்ள சக்தியே காரணம் என்று அறிவோம். சக்தி யில்லையேல் உயிர்கள் தம் சீரமைப்பை இழந்து விடுகின்றன.

அணுக்களைச் சிதைக்கலாம், வேதியியல் கூட்டுப் பொருள்களை உருக்குலையச் செய்யலாம், உயிரின இயக்கத்தை அழிக்கலாம். ஆனால் சக்தியை அழிக்கவோ, ஆக்கவோ முடியாது. எனவே அத்தகைய சக்தியின் தோற்றத்தை அறிய வேண்டும்.

உயிர் வேதியியல் கிரியைகளிலெல்லாம் சிறப்பான அம்சம் சக்தியின் உருமாற்றங்களே. ஒரு வகை மாற்றங்கள் சக்தியை

வெளியிடுகின்றன, மற்றொருவகை மாற்றங்கள் சக்தியைப் பயன் படுத்திக் கொள்ளுகின்றன. ஓர் உயிரின் வாழ்க்கை இயக்கங்கள் அனைத்திலும் மேற்கண்ட மாற்றங்கள் மாறி மாறியோ, இணை யாகவோ, கூட்டாகவோ நிகழலாம். எனவே உயிரியக்கம் என்ற தன்மைக்கு சக்தியின் மாற்றங்கள் என்ற மறு பெயரிடலாம். சக்தி மாற்றங்கள் இல்லையேல் உயிரில்லை. உயிரில்லையேல் சக்தி மாற் றங்கள் இல்லை. எனவே இப் பண்புடைய சக்தியின் தோற்றத் தைப்பற்றி அறிந்தாலென்ன? அதில் உயிர்களின் தோற்றத்திற் குரிய சக்தி அடங்கியிருக்கலாமல்லவா?

BIBLIOGRAPHY

1. Allfrey, V.G., & Mirsky, A,E.—"How cells make molecules." Scientific American, 205; 74-82, 1961.

2. Burris R.H., (1966), "Annual Review of Plant Physiology," 17, 155-184.

3. Chargaff., E., and Davidson, J. N. (Eds.)—" The Nucleic Acids"—Vol. 3. New York: Academic Press 1960.

4, Crick, F.H.C., "Nucleic Acids", Scientific American, 197; 188-200, 1957.

5. Crick, F.H C., "The Genetic Code" Scientific American; 207 : 66-74, 176, (Oct.) 1962.

6. Devlin, Robert M., "Plant Physiology ", East—West Press (Reinhold, USA, 1966)

7. Daft, M.J. and Nicolson, T.H. (1966), New Phytologist, 65, 343-350.

8. Gay, H., "Nuclear Control of the cell", Scientific American 202 (No. 1): 126—136, 1960.

9. Greenberg—"Metabolic Pathways"-Vol. 1 3rd Edn. (1969)

10. Hurwitz, J., and Furth, J J., "Messenger RNA " Scientific American, 206 (No. 2): 41-49, 1962.

11. Lehninger, A.L. (1965) "Bioenergetics" W. A. Benjamin. New York.

12. Loewy A., and P. Siekevitz. 1963—"Cell structure and Function," Holt, Rinehart and Winston, New York.

13. Mallette M. Frank, Paul M. Althouse. and Carl O, Clagett—"Biochemistry of Plants and Animals".

14. Meyer, Bernard S., Donald B. Anderson, and Richard H. Bohning—"Introduction to Plant Physiology"—East-West Press (Van Nostrand, USA, 1960).

16. Morrison, T. M. and English, D.A. (1967)—"New Phytologist," 66, 245-250.

16. Rabinowitch & Govindjee—"Photosynthesis"

17. Robertson J. 1962, "The membrane of living Cell". Scientific American 206 (4): 64.

18. Swanson, Carl P., "The Cell"—Prentice-Hall, USA, 1963,

19. Thimann K. V. (1963), "The Life of Bacteria", 2nd edn. The Macmillan Company, New York.

20. Wagner R.P., and Mitchell, H.K., "Genetics—and Metabolism, 2nd Edn., New York; J. Wiley & Sons, 1964.

21. Webster S. R., Youngberg, O.T. and Wollam, A.G. (1967) Nature, Lond., 216, 392-393.

22. Whaley W., J. Kephart, and H. Mollenhauer (1959) "Developmental changes in the Golgi-apparatus of maize root cells" American Journal of Botany 46 : 743.

கலைச்சொற்கள்

A

Absorption	—	உறிஞ்சுதல், கிரகித்தல்
Abstract	—	அருவமான
Accessory	—	கூடுதலான
Accessory cell	—	துணைசெல்
Accessory pigments	—	துணை நிறமிகள்
Acclimatisation	—	தட்ப வெப்பநிலை ஒத்தல்
Accumulation	—	சேகரம்
Accumulation of solutes	—	கரைபொருள்களின் சேகரம்
Accumulation of ions	—	அயனிகளின் சேகரம்
Acetaldehyde	—	அஸிடால் டிஹைடு
Acetate	—	அஸிடேட்
Actcyle CoA	—	அஸிடைல் கோஏ
Aectyle phosphate	—	அஸிடைல் ஃபாஸ்ஃபேட்
Acidity	—	அமிலத்தன்மை
Acids	—	அமிலங்கள்
Aconitase	—	அகோனிடேஸ்
Cis-Aconitic acid	—	ஸிஸ்-அகோடினிக் அமிலம்
Action Spectrum	—	செயல் நிறமாலை
Activation energy	—	ஊக்குவிப்பு சக்தி அல்லது ஊக்குவிப்பு ஆற்றல்
Adenine	—	அடினைன்
Adenosine	—	அடினோசின்

Adenosine monophosphate	—	அடினேசின் மோனே ஃபாஸ்ஃபேட்
Adenosine diphosphate	—	அடினேசின் டைஃபாஸ்ஃபேட்
Adenosine triphosphate	—	அடினேசின் ட்ரை ஃபாஸ்ஃபேட்
Adenylic acid or AMP	—	அடினிலிக் அமிலம் அல்லது அடினே. மோ. ஃபா
Aeration	—	காற்ருேட்டம்
Alanine	—	அலனைன்
Albino plants	—	வெளிரிய தாவரங்கள்
Albumins	—	ஆல்ப்யூமின்கள்
Alcoholic fermentation	—	சாராய நொதித்தல்
Alchohols	—	ஆல்கஹால்கள்
Algae	—	ஆல்ஜி
Aldolase	—	ஆல்டொலேஸ்
Aleurone	—	அல்யூரோன்
Alkalinity	—	காரத் தன்மை
Alkaloids	—	ஆல்கலாய்டுகள்
Aluminium	—	அலுமினியம்
Amino acids	—	அமினே அமிலங்கள்
Ammonia	—	அம்மோனியா
Ammonium salts	—	அம்மோனிய உப்புக்கள்
∝-Amylase	—	ஆல்ஃபா-அமைலேஸ்
β-Amylase	—	பீட்டா-அமைலேஸ்
Amylopectin	—	அமைலோபெக்டின்
Amylose	—	அமைலோஸ்
Annual	—	ஓராண்டுச் செடி
Annual-biennial grafts	—	ஓராண்டு-ஈராண்டுச் செடிகளின் ஒட்டு
Anthocyanins	—	ஆன்தோஸயனின்கள்
Apical dominance	—	நுனி ஆதிக்கம்
Aquatic plants	—	நீர்வாழ் தாவரங்கள்
Arabans	—	அரபன்கள்
L-Arabinose	—	எல்-அரேபினேஸ்
Arginine	—	ஆர்ஜினைன்

Ascorbic acid	—	அஸ்கோர்பிக் அமிலம்
Ascorbic acid oxidase	—	அஸ்கோர்பிக் அமில ஆக்ஸிடேஸ்
Asparagine	—	அஸ்பேரஜீன்
Aspartic acid	—	அஸ்பேர்டிக் அமிலம்
ATP	—	அ. ட்ரை. பா. அல்லது ATP என்றே கூறுக.
Auxin	—	ஆக்ஸின்
Azotobacter	—	அஸடோபேக்டர்

B

Bacteria	—	பாக்டீரியா
Bacterial nodule	—	பாக்டீரிய முண்டு
Biennial plants	—	ஈராண்டுச் செடிகள்
Biology	—	உயிரியல்
Biotin	—	பயோடின்
Blackman reaction	—	பிளேக்மன் கிரியை
Boron	—	போரான்
Brownian movement	—	பிரௌனியன் அசைவு
Buds	—	மொட்டுகள்
Bundle	—	தொகுப்பு
Bundle sheath	—	தொகுப்பு உறை

C

Caffeine	—	கேஃபீன்
Calcium	—	கேல்ஸியம்
Calcium carbonate	—	கேல்ஸியம் கார்பொனேட்
Callus	—	கேலஸ்
Calorimeter	—	கலோரிமீட்டர்
Cambium	—	கேம்பியம்
Carbohydrates	—	கார்போஹைடிரேட்டுகள்
Carbon dioxide	—	கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு
Carbon monoxide	—	கார்பன் மோனாக்ஸைடு

C_4 dicarboxylic acid cycle C_4	—	C_4 டை கார்பாக்ஸில் அமில சுழற்சி
Carbon fixation in photosynthesis	—	ஒளிச் சேர்க்கையில் கார்பன் நிலைப்பாடு
Carbon, isotope	—	கார்பன் ஐஸொடோப்
Carboxylase	—	கார்பாக்ஸைலேஸ்
Co-Carboxylase	—	இணை-கார்பாக்ஸைலேஸ்
β-Carotene	—	பீட்டா கேரொடீன்
Carotenoids	—	கேரோடிநொய்டுகள்
Catalase	—	கேடலேஸ்
Cation exchange	—	நேர் மின்னேற்ற அயனி பரிமாற்றம்
Cell	—	செல்
Cell division	—	செல் பகுப்பு
Cell enlargement	—	செல் விரிவு
Cell differentiation	—	செல் உருமாற்றம்
Cell wall	—	செல் சுவர்
Cellobiose	—	செல்லோப்யோஸ்
Cellulose	—	செல்லுலோஸ்
Chaulmoogric acid	—	சால்மூக்ரிக் அமிலம்
Chlorella	—	குளோரெல்லா
Chlorophyll	—	குளோரோஃபில் அல்லது பச்சையம்
Chloroplasts	—	பசுங்கணிகம்
Chlorosis	—	குளோரோஸிஸ்
Citric acid	—	சிட்ரிக் அமிலம்
Citric acid cycle	—	சிட்ரிக் அமில சுழற்சி
Clostridium	—	க்ளாஸ்ட்ரீடியம்
Cobalt	—	கோபால்ட்
Coconut milk	—	இளநீர்
Coenzymes	—	இணைநொதிகள்
Choline	—	கோலைன்
Cold	—	தட்ப
Coleoptile	—	கோலியோப்டைல், கருத்தண்டுறை

Competition — போட்டி
Copper — தாமிரம்
Cuticle — க்யூடிகிள்
Cysteine — ஸிஸ்டீன்
Cystine — ஸிஸ்டைன்
Cytidylic acid — ஸைடிடிலிக் அமிலம்
Cytochrome — ஸைடோகுரோம்
Cyto chrome oxidase — ஸைடோகுரோம் ஆக்ஸிடேஸ்
Cytoplasam — ஸைடோபிளாசம்
Cytosine — ஸைடோஸீன்

D

Decarboxylation — டீ கார்பாக்ஸைலேஷன் அல்லது கார்பன் நீக்கம்
Dehydrogenase — டீஹைடிரோஜினேஸ் அல்லது ஹைட்ரஜன் நீக்கி
Denaturation — இயற்கைத் தன்மையை இழத்தல்
Deoxyribo nucleic acid — டீஆக்ஸிரிபோ நியூக்ளிக் அமிலம்
Deoxyribose — டீஆக்ஸிரிபோஸ்
Development — வளர்முறை
Dicarboxylic acids — டைகார்பாக்ஸில் அமிலங்கள்
Differentiation — உருமாற்றம்
Diffusion — பரவல்
Diffusion pressure deficit — பரவல் அழுத்தக் குறைவு
Dihydroxy acetone phosphate — டைஹைட்ராக்ஸி அஸிடோன் ஃபாஸ்ஃபேட்
1-3-Diphosphoglyceric acid — 1-3-டைஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரிக் அமிலம்
Diphospho pyridine nucleotide — டைஃபாஸ்ஃபோபிரிடீன் நியூக்ளியோடைட்(டு)
Disaccharide — இரு சர்க்கரைக் கூட்டு

E

Electron microscope	—	எலெக்ட்ரான் நுண்ணோக்கி
Electrons	—	எலெக்ட்ரான்கள்
Element	—	மூலகம்
Embryo	—	கரு
Energy	—	சக்தி
Enolase	—	ஈனொலேஸ்
Enzyme	—	நொதி
Ester	—	எஸ்டெர்
Ethyl alcohol	—	ஈதைல் ஆல்கஹால்
Exudation	—	கசிவு

F

Fat	—	கொழுப்பு
Fatty acid	—	கொழுப்பு அமிலம்
Fermentation	—	நொதித்தல்
Fibers	—	நார்கள்
Flavoproteins	—	ஃப்ளேவோ புரதங்கள்
Fructose	—	ஃப்ரக்டோஸ்
Fructose 1, 6-Diphosphate	—	ஃப்ரக்டோஸ் 1,6-டைஃபாஸ்ஃபேட்(டு)
Fumarase	—	ஃப்யூமரேஸ்
Fumarate	—	ஃப்யூமரேட்
Fungi	—	பூஞ்சை

G

Galactans	—	கேலக்டென்கள்
Galactose	—	கேலக்டோஸ்
Gene	—	ஜீன்
Genetic Control	—	ஜீன் கட்டுப்பாடு
Germination	—	முளைத்தல்
Globulins	—	குளோபுலின்கள்
Glucan	—	குளுகன்

Glucose — குளுகோஸ்
Glutamic acid — குளுடாமிக் அமிலம்
Glutamic dehydrogenase — குளுடாமிக் டீஹைடிரோஜினேஸ்
Glutamine — குளுடமைன்
Glyceraldehyde — கிளிஸரால்டிஹைடு
Glycerol — கிளிஸரால்
Glycine — க்ளைஸைன்
Glycolysis — க்ளைகோலிஸிஸ்
Glycoside — க்ளைகோஸைடு
Grana — கிரானு
Growth — வளர்ச்சி
Guanine — குவனைன்
Guanylic acid — குவனிலிக் அமிலம்
Guanosine triphosphate — குவனோசின் ட்ரைஃபாஸ்ஃபேட்

H

Haeme — ஹீம்
Haeme protei — ஹீம் புரதம்
Haemicellulose — ஹெமிஸெல்லுலோஸ்
Haemoglobin — ஹீமோகுளோபின்
(Leg) haemoglobin — (லெக்) ஹீமோகுளோபின்
Heat — வெப்பம்
Hexokinase — ஹெக்ஸோகைனேஸ்
Hexose — ஹெக்ஸோஸ்
Histidine — ஹிஸ்டிடின்
Hormone — வளர்ச்சிப் பொருள்
Hydrogen ion — ஹைடிரஜன் அயனி
Hydrolysis — ஹைடிரோலிஸிஸ் அல்லது நீர் இணைத்தல்
Hydrolipoate — ஹைடிரோலிபோயேட்
Hydroguinone — ஹைடிரோகுவினோன்

I

IAA (Indole acetic acid) — இஅஅ (இன்டோல் அஸிடிக் அமிலம்)
Inhibition — தடை
Initial cell — முதல் செல்
Intermediate — இடை ஏற்பான்கள்
Inulin — இன்யூலின்
Iodine — ஐயோடின்
Ion — அயனி
Iron — இரும்பு
Isocitric acid — ஐஸோசிட்ரிக் அமிலம்
Isocitric dehydrogenase — ஐஸோசிட்ரிக் டீஹைடிரோஜினேஸ்
Isocitritase — ஐஸோசிட்ரிடேஸ்
Isoleucine — ஐஸோல்யூசைன்
Isomerase — ஐஸோமிரேஸ்
Isotope — ஐஸோடோப்

K

Keto acids — கீடோ அமிலங்கள்
α-Ketoglutaric acid — ஆல்ஃபா - கீடோ குளுடாரிக் அமிலம்
Ketonic group — கீடோன் குழு
Ketopentose — கீடோபென்டோஸ்

L

Lactic acid — லேக்டிக் அமிலம்
Lactic dehydrogenase — லேக்டிக் டீஹைடிரோஜினேஸ்
Lactic acid fermentation — லேக்டிக் அமில நொதித்தல்
Lauric acid — லாரிக் அமிலம்
Leaf — இலை
Legume — லெக்யூம்
Leucine — ல்யூசைன்

Light	—	ஒளி
Lignin	—	லிக்னின்
Linoleic acid	—	லினோலீக் அமிலம்
Lipase	—	லிபேஸ்
Lipid	—	லிபிடு
Lipoprotein	—	லிபோ புரதம்
Lysine	—	லைஸன்

M

Magnesium	—	மக்னீஸியம்
Malic acid	—	மேலிக் அமிலம்
Malic debydrogenase	—	மேலிக் டீஹைடிரோஜினேஸ்
Maltose	—	மால்டோஸ்
Manganese	—	மாங்கனீசு
Mannans	—	மானன்கள்
Mannose	—	மான்னோஸ்
Membrane	—	சவ்வு
Meristem	—	ஆக்குதிசு
Mesophyll	—	மீஸோஃபில்
Metabolism	—	சிதைமாற்றம்
Methionine	—	மீதியோனைன்
Mitochondria	—	மைடோகோண்ட்ரியா

N

Nitrate	—	நைட்ரேட்
Nitrite	—	நைட்ரைட்
Nitrogen	—	நைட்ரஜன்
Nitrogen fixation	—	நைட்ரஜன் நிலைப்பாடு
Nitrosomones	—	நைட்ரோஸோமோனஸ்
Nodule	—	முண்டு
Nostoc	—	நாஸ்டாக்
Nucleic acid	—	நியூக்ளிக் அமிலம்
Nucleoprotein	—	நியூக்ளியோ புரதம்

Nucleoside — நியூக்ளியோஸைட்
Nucleotide — நியூக்ளியோடைட்
Nucleus — நியூக்ளியஸ்

O

Oil — எண்ணெய்
Oleic acid — ஓலீக் அமிலம்
Organic — அங்கக
Organic acid — அங்கக அமிலம்
Osmosis — சவ்வூடு பரவல்
Osmatic Concentration — ஆஸ்மாடிக் செறிவு
Oxalo acetic acid — ஆக்ஸலோ அஸிடிக் அமிலம்
Oxalo succinic acid — ஆக்ஸலோ ஸக்ஸினிக் அமிலம்
Oxidase — ஆக்ஸிடேஸ்
Oxidation — ஆக்ஸீகரணம்
Oxygen — ஆக்ஸிஜன்

P

Palmitic acid — பாமிடிக் அமிலம்
Parenchyma — பாரென்கைமா
Pectin — பெக்டின் (or) காய்சத்து
Pentose — பென்டோஸ்
Peptidase — பெப்டிடேஸ்
Peptide — பெப்டைட்
Phenol — ஃபீனல்
Phloem — ஃப்ளோயம்
Phosphoenol pyruvic acid — ஃபாஸ்ஃபோஈனல் பைருவிக் அமிலம்
Phospho glucomutase — ஃபாஸ்ஃபோகுளுகோம்யூடேஸ்
3-Phosphoglyceraldehyde — 3 - ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸரால்டிஹைட்(டு)

Phospho glyceraldehyde dehydrogenase	—	3 - ஃபாஸ்ஃபோ கிளிஸாரல் டிஹைட் டிஹைட்ரோஜினேஸ்
Phosphoglyceric acid	—	ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரிக் அமிலம்
Phospho geyceromutase	—	ஃபாஸ்ஃபோகிளிஸரோம்யூடேஸ்
Phospho hexoisomerasc	—	ஃபாஸ்ஃபோ ஹெக்ஸோஐசோமிரேஸ்
Phospho hexokinase	—	ஃபாஸ்ஃபோ ஹெக்ஸோகைனேஸ்
Phospholipid	—	ஃபாஸ்ஃபோ லிபிடு
Phosphate	—	ஃபாஸ்ஃபேட்
Phosphorylation	—	ஃபாஸ்பரீகரணம்
Photosynthesis	—	ஒளிச்சேர்க்கை
Phycocyanin	—	ஃபைகோஸயனின்
Phycoerythrin	—	ஃபைகோஎரித்ரின்
Phytol	—	ஃபைடால்
Pigment	—	நிறமி
Plant	—	தாவரம்
Plasmo desmata	—	பிளாஸ்மோடெஸ்மேடா
Plasmolysis	—	பிளாஸ்மோலிஸிஸ்
Polarity	—	துருவத்துவம்
Polypeptide	—	பாலிபெப்டைட்(டு)
Poly sascharide	—	பாலிசேக்கரைடு
Porphyrins	—	பார்ஃபைரின்கள்
Potassium	—	பொட்டாஸியம்
Prolamine	—	ப்ரோலமைன்
Proline	—	ப்ரோலைன்
Proplastid	—	ப்ரோபிளாஸ்டிட்
Protein	—	புரதம்
Purine	—	ப்யூரீன்
Pyruvic acid	—	பைருவிக் அமிலம்

Q

Quinone	—	குவினோன்
Ubi Quinone	—	யுபிக்வினோன்

R

Resin — ரெஸின்
Respiration — சுவாசித்தல்
Respiratory Quotient — சுவாச ஈவு
Rhizobium — ரைஸோபியம்
Riboflavin — ரைபோஃப்ளேவின்
Ribo nucleic acid — ரிபோநியூக்ளிக் அமிலம்
Root — வேர்

S

Seed — விதை
Shoot — தண்டு
Starch — தரசம்
Starch phosphorylase — தரச ஃபாஸ்ஃபாரிலேஸ்
Stearic acid — ஸ்டீயரிக் அமிலம்
Sterol — ஸ்டீரால்
Stomata — இலைத்துளை
Stroma — ஸ்ட்ரோமா அல்லது உள்ளிடைப் பொருள்
Substrate — தளப்பொருள்
Succinic aci_ — ஸக்ஸினிக் அமிலம்
Sucrose — சூக்ரோஸ்
Sugar — சர்க்கரை

T

Temperature — வெப்பநிலை
Thiamine — தயாமீன்
Threonine — த்ரியோனைன்
Thymine — தைமீன்
Triphosoho pyridine nucleotide — ட்ரை ஃபாஸ்ஃபோ பிரிடீன் நியூக்ளியோடைட்

Transaminase — டிரான்ஸ் அமினேஸ்
Transamination — மாற்று அமினீகரம்
Transpiration — நீராவிப்போக்கு
Triglyceride — ட்ரை கிளிஸரைட்(டு)
Tryptophane — ட்ரிப்டோஃபேன்
Tyrosine — டைரோஸீன்

U

Ultraviolet ray — புறஊதாக் கதிர்
Uracil — யூரஸில்
Uridylic acid — யுரிடிலிக் அமிலம்

V

Valine — வேலீன்
Virus — வைரஸ் அல்லது வடிப்பான் புகு நுண்ணுயிர்
Vitamin — வைட்டமின்

W

Warburg — வார்பர்க் உபகரணம்
Water — நீர்
Wax — மெழுகு

X

Xanthophyll — ஸேன்தோஃபில்
Xylan — ஸைலன்
Xylem — ஸைலம்

Y

Ycast — ஈஸ்ட்டு

Z

Zinc — துத்தநாகம்